

CARLOS FABIAN MOYANO

**UM ESTUDO DA ALOCAÇÃO DE PERDAS DE
TRANSMISSÃO EM SISTEMAS DE POTÊNCIA
DESREGULAMENTADOS**

**FLORIANÓPOLIS
2001**

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
ELÉTRICA**

**UM ESTUDO DA ALOCAÇÃO DE PERDAS DE
TRANSMISSÃO EM SISTEMAS DE POTÊNCIA
DESREGULAMENTADOS**

Dissertação submetida à
Universidade Federal de Santa Catarina
como parte dos requisitos para a
obtenção do grau de Mestre em Engenharia Elétrica

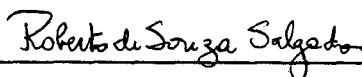
CARLOS FABIAN MOYANO

Florianópolis, Fevereiro de 2001.

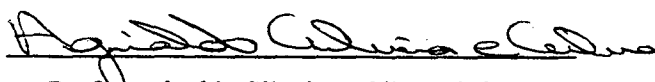
UM ESTUDO DA ALOCAÇÃO DE PERDAS DE TRANSMISSÃO EM SISTEMAS DE POTÊNCIA DESREGULAMENTADOS

Carlos Fabian Moyano

‘Esta Dissertação foi julgada adequada para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Elétrica, Área de Concentração em *Sistemas de Potência*, e aprovada em Sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Santa Catarina.’

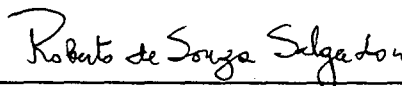


Prof. Roberto de Souza Salgado, Ph.D.
Orientador

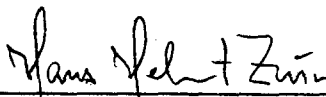


Prof. Aginaldo Silveira e Silva, Ph.D.
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica


Banca Examinadora:



Prof. Roberto de Souza Salgado, Ph.D.
Presidente



Prof. Hans Helmut Zürn, Ph.D.



Prof. Antônio José Alves Simões Costa, Ph.D.

“... el hombre nunca sabe para quién padece y espera. Padece y espera y trabaja para gentes que nunca conocerá y que a su vez padecerán, y esperarán y trabajarán para otros que tampoco serán felices, pues el hombre ansia siempre una felicidad situada más allá de la porción que le es otorgada. Pero la grandeza de un hombre está precisamente en querer mejorar lo que es. En imponerse Tareas. En el Reino de los Cielos no hay grandeza que conquistar, puesto que allá todo es jerarquía establecida, incógnita despejada, existir sin término, imposibilidad de sacrificio, reposo y deleite. Por ello, agobiado de penas y de Tareas, hermoso dentro de su miseria, capaz de amar en medio de las plagas, el hombre sólo puede hallar su grandeza, su máxima medida en el Reino de este Mundo.”

Alejo Carpentier ; “El Reino de este mundo”

México, Edición y Distribución Iberoamericana de Publicaciones S.A., 1949

Aos meus Pais
meu filho Dario e meus irmãos, Guillermo e Silvia
que mesmo distantes estão presentes.

AGRADECIMENTOS

Ao professor Roberto de Souza Salgado pela amizade e orientação durante todo o período de realização deste trabalho.

Ao meu amigo Edgardo Daniel Castronuovo, quem teve a idéia original da inclusão das transações no FPO, e pelo constante apoio nestes dois anos.

À Universidade Federal de Santa Catarina pela oportunidade de realizar este trabalho.

A todos os professores do curso de Pós-Graduação de Engenharia Elétrica pelos conhecimentos ensinados, em especial aos professores: Simões Costa, Hans, Decker, Campagnolo e Katia.

Agradeço ao Laboratório de Sistemas de Potência (LABSPOT) pela infra-estrutura e apoio.

Aos companheiros Antonio, Favio, Luciano, Paulo e Ghendy pela amizade e apoio durante todos estes dois anos de trabalho.

Aos colegas da Pós-Graduação.

A CNPQ pelo auxílio financeiro.

Resumo da Dissertação apresentada à UFSC como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Elétrica.

UM ESTUDO DA ALOCAÇÃO DE PERDAS DE TRANSMISSÃO EM SISTEMAS DE POTÊNCIA DESREGULAMENTADOS

Carlos Fabian Moyano

Fevereiro/2001

Orientador: Prof. Roberto de Souza Salgado, Ph.D.

Área de Concentração: Sistemas de Potência.

Palavras-chave: Mercados elétricos desregulamentados; Transações de energia; Fluxo de Potência Ótimo; Pontos Interiores; Alocação de Perdas.

Número de Páginas: 121

O presente trabalho enfoca três aspectos. O primeiro é a inclusão de transações de energia na formulação do problema de Fluxo de Potência Ótimo (FPO) com a introdução da mínima quantidade de variáveis. Isto é realizado modificando-se os limites de geração de potência ativa dos geradores. O segundo aspecto diz respeito à aplicação do algoritmo do Máximo Passo no Caminho Central, o qual é uma variante do método convencional de Pontos Interiores, utilizado para superar as dificuldades de convergência do processo iterativo provenientes da alteração dos limites de geração. O terceiro tópico considerado, é a divisão das perdas entre as transações. Neste item, três abordagens são consideradas: a modelagem das equações da rede com múltiplas barras de folga, o uso de relações de sensibilidade entre as variáveis do sistema elétrico e a utilização dos multiplicadores de Lagrange. Resultados com sistemas de diferentes portes ilustram o estudo realizado.

Abstract of Dissertation presented to UFSC as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master in Electrical Engineering.

A STUDY OF TRANSMISSION LOSSES ALOCATION IN DEREGULATED POWER SYSTEMS

Carlos Fabian Moyano

February/2001

Advisor: Prof. Roberto de Souza Salgado, Ph.D.

Area of Concentration: Power Systems.

Keywords: Deregulated Electric Markets; Energy Transactions; Optimal Power Flow; Interior points; Loss Alocation.

Number of Pages: 121

The present work focuses three aspects. The first is the inclusion of transactions of energy in the formulation of the Optimal Power Flow problem (OPF) with the introduction of the minimum amount of variables. That is accomplished modifying the limits of generation of active potency of the generators. The second aspect says respect to the application of largest Step's Central Path algorithm, which is a variant of the conventional Interior Points method, used to overcome the convergence difficulties of the iterative process coming of the alteration of the generation limits. The third considered topic, it is the division of the losses among the transactions. In this item, three frameworks are considered: the equations of the net with multiple slack bus, the use of sensibility relationships between the variables of the electric system and the use of Lagrange multipliers. Results with systems of different loads illustrate the accomplished study.

Resumen de la Disertación presentada en la UFSC como parte de los requisitos necesarios para la obtención de la Maestría en Ingeniería Eléctrica.

UN ESTUDIO DE LA ASIGNACION DE LAS PERDIDAS DE TRANSMISION EN SISTEMAS DE POTENCIA DESREGULAMENTADOS

Carlos Fabian Moyano

Febrero/2001

Orientador: Prof. Roberto de Souza Salgado, Ph.D.

Area de Concentración: Sistemas de Potencia.

Palabras Clave: Mercados eléctricos desregulamentados; Transacciones de energía;
Flujo de Potencia Optimo; Puntos Interiores; Asignación de Perdidas.

Número de Páginas: 121

El presente trabajo enfoca tres aspectos. El primeiro es la inclusión de transacciones de energía en la formulación del problema de Flujo de Potencia Optimo (FPO) con la introducción de una mínima cantidad de variáveis. Esto es realizado modificando los límites de generación de potencia activa de los generadores. El segundo aspecto tratado es la aplicación del algoritmo de Máximo Paso en el Camino Central, el cual es una variante del método convencional de Puntos Interiores, utilizado para superar las dificultades de convergencia del proceso iterativo provenientes de la alteración de los límites de generación. El tercer tópico considerado, es la división de las perdidas entre las transacciones. En este item, tres abordages son consideradas: modelar las ecuaciones de la red con múltiples barras slack, el uso de relaciones de sensibilidad entre las variables del sistema eléctrico y la utilización de los multiplicadores de Lagrange. Resultados con sistemas de diferentes portes ilustran el estudio realizado.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.	1
2. CONCEITOS PRELIMINARES	6
2.1. Introdução.	6
2.2. Os Agentes Econômicos.	6
2.3. As Transações.	8
2.4. O Fluxo de Potência Ótimo.	9
2.5. Serviços ancilares e perdas de potência ativa.	11
2.6. Conclusões.	13
3. TRABALHO PROPOSTO	14
3.1. Introdução.	14
3.2. Representação das Transações.	14
3.3. Localização das Entidades Econômicas nas Barras do Sistema.	15
3.4. Relação entre As Transações Pré-Contratadas e a Demanda Real.	17
3.5. Relação entre as Transações Pré-Contratadas e a Geração Mínima.	19
3.6. O Fluxo de Potência Ótimo	22
3.7. O Método de Pontos Interiores Primal-Dual, versão Não-Linear.	23
3.8. O Algoritmo de Máximo Passo na Direção do Caminho Central	27
3.9. Perdas	31
I. Gross e Tao	31
II. Sensibilidade	34
III. Cuervo e Galiana	38
IV. Finney, Othman & Rutz	41
V. Multiplicadores de Lagrange	44
3.10. Conclusões.	44
4. RESULTADOS NUMÉRICOS	46

4.1. Introdução	46
4.2. Variação dos Custos de Geração e Perdas no Sistema com as Transações.	47
4.3. Comparação com resultados da bibliografia	48
4.4. Mínimo desvio de uma Matriz de Transações Proposta	51
4.5. Efeito da Redução dos Limites de Potência Ativa Gerada.	53
4.6. Desempenho do Algoritmo do Máximo Passo na Direção do Caminho Central	55
4.7. Alocação das perdas de potência ativa na transmissão	59
4.8. Resultados da alocação de perdas para o sistema IEEE de 30 barras	62
Tempos de Processamento para as implementações dos métodos de alocação de perdas	64
5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS	67
5.1. Conclusões	67
5.2. Sugestões para Futuros Trabalhos	68
ANEXO A - ALOCAÇÃO DAS PERDAS ÀS TRANSAÇÕES	70
ANEXO B - DADOS DOS SISTEMAS TESTE	80
B.1 Sistema de 3 Barras da referência [2]	80
B.2 Sistema IEEE de 6 Barras	81
B.3 Sistema IEEE de 14 Barras	82
B.4 Sistema IEEE de 30 Barras	83
B.5 Sistema IEEE de 118 Barras	85
B.6 Sistema SSB de 352 Barras	93
ANEXO C - VARIÁVEIS NO LIMITE E MULTIPLICADORES ASSOCIADOS PARA OS CASOS APRESENTADOS NO CAPÍTULO 4.6	109
Sistema IEEE 118	109
Sistema SSB 354	113
BIBLIOGRAFIA	117

Capítulo 1

Introdução.

A desregulamentação dos mercados de energia elétrica, considerada a maior reestruturação ocorrida nas últimas décadas neste setor, tem sido motivada por diferentes objetivos. Na Inglaterra e na América Latina, a privatização tem oferecido oportunidades para investimentos no setor privado, para substituir pesados subsídios públicos. No centro e no leste europeu, a desverticalização é resultado da tendência geral de abandonar o poder público centralizado, para construir uma economia de mercado, tornando-se uma maneira de atrair investimentos estrangeiros. Nos países onde a indústria foi privatizada, a tendência tem sido aumentar a competição e diminuir a regulamentação [6].

As vantagens pretendidas desta nova realidade são a diminuição do preço ao usuário final e o incentivo proporcionado pela concorrência à incorporação de tecnologias mais eficientes. Em contrapartida, a complexidade do mercado de energia elétrica e a falta de ferramentas adequadas para a interpretação das relações entre seus integrantes têm sido citadas como principais desvantagens deste processo.

No novo ambiente, os contratos entre vendedores e compradores, referidos como transações bilaterais de energia, constituem novas variáveis de decisão na análise da operação dos sistemas de potência. Num mercado competitivo, vários tipos de transações são possíveis, cada uma requerendo um tratamento diferente no que tange à sua formulação analítica e correspondente inclusão na análise da operação das redes de potência.

As atividades do sistema interconectado agregadas de forma implícita à venda de energia elétrica e que não estão diretamente associadas à demanda, tais como as perdas e o suporte de energia reativa, são elementos constituintes do que se denomina Serviços Ancilares. O mercado competitivo requer que esses serviços sejam desmembrados, que a eles sejam atribuídos preços, e que os mesmos sejam comercializados separadamente em subconjuntos para os usuários que deles necessitem [6]. Destes serviços as perdas de potência ativa serão tratadas neste trabalho.

A confiabilidade é um requerimento básico para todo sistema elétrico. O controle do uso da rede de transmissão é feito principalmente através do despacho dos geradores. O acesso aberto à rede implica num acesso aberto ao despacho de potência. Na análise da operação dos mercados de energia elétrica, algumas das principais questões são: definir as interações entre a transmissão e o despacho, os procedimentos e preços, que são o suporte do mercado competitivo [6].

O operador independente do sistema (*Independent System Operator* - ISO) é uma entidade encarregada de zelar pela segurança do sistema. Entre as suas atribuições, está aquela de modificar as transações que podem afetar a segurança do mesmo. Um exemplo disto, é o “England and Wales Power Pool” (EWPP) e o “California ISO”, onde o operador do sistema tem a autoridade para alterar os contratos de geração se eles causarem congestionamento na rede ou violação de restrições [6,15].

De acordo com a importância estabelecida pelos integrantes do sistema e fornecida ao operador, dois tipos de mercados podem ser distinguidos: o mercado predominantemente “Pool” e o mercado baseado em Transações Bilaterais. No modelo “Pool”, o Operador Central recebe as ofertas dos geradores, selecionando a forma mais eficiente de suprir a demanda e satisfazer as restrições do sistema. Transações de energia podem serem implementadas no modelo “Pool” [11,12]. No modelo Bilateral geradores e consumidores estabelecem transações de acordo com os seus próprios objetivos financeiros. A eficiência econômica está intrinsecamente relacionada ao mercado, ao serem preferidos os preços mais baixos entre os geradores [11].

A combinação dos modelos “Pool” e Bilateral é conhecida como modelo Misto, o que pode ser considerado como um terceiro modelo.

Nos três tipos de modelos, não existe ainda uma metodologia bem definida em termos de tarifação do uso da rede e Serviços Ancilares em relação às transações individuais. As metodologias atualmente em uso apresentam problemas quando se

considera o congestionamento das linhas de transmissão ou a alteração nos coeficientes de perda de potência nas linhas de transmissão [4]. Propostas de tarifação dos Serviços Ancilares são encontradas na referência [4]. As referências [12,23,26] propõem modelos para o tratamento do congestionamento em sistemas desregulamentados.

A modelagem das transações bilaterais no problema de Fluxo de Potência Ótimo é um tópico ainda em desenvolvimento. Galiana e Ilic [2,3,6] modelam os contratos bilaterais através de uma Matriz de Transações, a qual representa a rede elétrica de forma semelhante ao fluxo de potência CC. O problema de otimização é formulado em função das variáveis dos contratos bilaterais e resolvido para se obter o estado de operação normal, tomando como restrições de segurança os limites de geração e de fluxo de potência nas linhas de transmissão. As metodologias propostas nas referências [2, 3] caracterizam-se pelo elevado número de variáveis no problema de otimização. A utilização do modelo linearizado para a rede impede a otimização do despacho de energia reativa e por conseguinte o estabelecimento de um perfil de tensão adequado.

Hogan [16] considera a possibilidade das transações serem modeladas no mercado “Spot” (“short run”) por meio da sua inclusão no despacho econômico com restrições. As transações bilaterais seriam informadas ao Operador Independente do Sistema, e os não participantes dessas transações realizariam operações no mercado “Spot” (“Pool” residual).

O presente trabalho considera a incorporação das transações bilaterais no problema do Fluxo de Potência Ótimo não-linear através da alteração do limite de capacidade dos geradores, mediante a suposição de que a carga demandada em cada barra é fixa e deve ser suprida num determinado intervalo de tempo. Os níveis de carga correspondentes a cada transação bilateral são estimados com certas aproximações, sendo atribuição do operador do sistema o *rastreamento* da carga para proceder o despacho. A metodologia proposta permite a adequação da transação bilateral à demanda de uma forma simples por meio de coeficientes variando de forma contínua no intervalo de zero a um.

Devido ao estreitamento dos limites de capacidade dos geradores, o algoritmo proposto neste trabalho altera a característica de convergência do método de pontos interiores convencional [21]. Para superar essa dificuldade, a solução do Fluxo de Potência Ótimo com os limites de geração alterados é realizada através do algoritmo de otimização do Máximo Passo no Caminho Central, o qual fornece uma melhor convergência neste caso.

As perdas de potência ativa são determinadas após o despacho, não existindo uma metodologia consagrada de atribuição destas perdas às transações bilaterais. No presente trabalho, seis abordagens são utilizadas para a atribuição das perdas de potência ativa nas linhas de transmissão às transações bilaterais: a utilização dos multiplicadores de Lagrange, no enfoque clássico, e o de Finney, Othman e Rutz [23], obtidos como subproduto na solução do problema de otimização, a formulação baseada em aproximações lineares de Gross e Tao [14], o uso de relações de sensibilidade entre as variáveis do sistema de potência, com simples e múltiplas barras de folga [1,4], e o método de Cuervo e Galiana [25].

Os coeficientes de Lagrange, obtidos como um subproduto na solução dos problemas de otimização, são interpretados no despacho econômico como o custo marginal para se consumir uma unidade de potência adicional na barra, na ausência de congestionamento. Isto implica em que o custo da transmissão de uma transação bilateral unitária será a diferença entre os custos marginais do comprador e do vendedor. Esse custo de transmissão, na ausência de congestionamento, compensaria os custos em que incorre o sistema para transmitir uma unidade adicional de potência entre duas barras. No caso dos multiplicadores de Lagrange correspondentes ao balanço de potência ativa, essa compensação corresponderia às perdas da transação mais o congestionamento [6,13]. Finney, Othman e Rutz [23] formulam uma relação de sensibilidade que permite a separação dos custos de perdas de potência ativa do valor associado ao congestionamento, nos multiplicadores de Lagrange.

Gross e Tao, na referência [14], apresentam uma formulação que utiliza as simplificações feitas no fluxo de potência linearizado e aloca as perdas correspondentes a cada transação baseando-se em fluxos fixos. Sob essas considerações, demonstra-se que a função de perdas da rede pode ser aproximada por uma função quadrática das transações presentes no sistema, e que a sensibilidade da função de perdas com respeito à cada transação é uma função linear.

Cuervo e Galiana, na referência [25], mostram que as perdas correspondentes a cada transação são dependentes do caminho utilizado e da ordem na qual as transações são implementadas. A contribuição de cada transação é calculada através de uma equação diferencial, que utiliza coeficientes específicos para o cálculo das perdas incrementais. A integração é feita a través da resolução do fluxo de potência em cada intervalo.

Zobian e Ilic, na referência [4], mostram que as perdas do sistema resultantes de cada transação são uma função das transações em vigor no mesmo. O desbalanço de potência causado por uma transação particular pode ser compensado, mediante a alocação desta em diferentes geradores através dos fatores de participação do Despacho Econômico. A formulação apresentada nessa referência para o problema de fluxo de potência com barras de folga distribuídas foi aplicada nas relações de sensibilidade entre as variáveis do sistema e na implementação do método de Cuervo e Galiana. Os resultados dessas formulações e os decorrentes do caso de sensibilidade com barra de folga simples são apresentados.

No Capítulo 2 desta monografia, são apresentados os conceitos preliminares utilizados neste trabalho, englobando as transações, os agentes econômicos, o Fluxo de Potência Ótimo (FPO) e as perdas de potência ativa.

O Capítulo 3 descreve as formulações utilizadas para a inclusão das transações dentro do FPO, o método de Máximo Passo na Direção do Caminho Central e as diferentes abordagens encontradas na literatura para a divisão das perdas entre as transações.

O Capítulo 4 apresenta os resultados numéricos enfocados nos três objetivos principais deste trabalho. Primeiramente são mostrados os resultados da aplicação da metodologia proposta para a inclusão das transações no FPO; posteriormente são apresentados os resultados da aplicação do algoritmo de Máximo Passo na Direção do Caminho Central; por último, são mostrados os resultados das diferentes abordagens para alocação de perdas.

No Capítulo 5 são enunciadas as conclusões e sugestões para próximos trabalhos.

Capítulo 2

Conceitos Preliminares

2.1.Introdução.

Neste capítulo são apresentados os conceitos preliminares e as definições necessárias para a compreensão desta monografia. Em primeiro lugar são descritos os agentes econômicos que integram o mercado de energia, encontrados nas estruturas desregulamentadas. É mostrado como a interrelação estabelecida entre esses integrantes permite a definição de três modelos de operação: “Pool”, Bilateral e Misto. Os diferentes tipos de transação são definidos posteriormente, os nomes atribuídos a elas implicam numa ordem de prioridade baseada na hierarquização existente nos mercados atuais. A formulação de Fluxo de Potência Ótimo é apresentada a seguir, enquanto que, nas últimas seções, o enfoque das perdas de potência ativa como serviço ancilar é mostrado dentro dos diferentes enfoques existentes na bibliografia.

2.2.Os Agentes Econômicos.

Intercâmbios econômicos entre as entidades produtoras e consumidoras do sistema de potência constituem uma rede econômica, distinta da rede física. Estes intercâmbios são realizados basicamente através de transações pré-contratadas entre produtores e consumidores, e via compra de energia do sistema como um todo.

Os *agentes* dos intercâmbios econômicos são:

- *Entidades Geradoras*, que representam os interesses de venda de energia dos geradores da rede.
- *Entidades Consumidoras*, que são as entidades de compra de energia do mercado.
- *Entidades Comerciais*, que são empresas financeiras que compram e vendem energia no seu próprio benefício, sem gerá-la nem consumi-la.
- *Operador do sistema (ISO)*, que é uma entidade independente cujo objetivo é a coordenar os serviços existentes em um mercado aberto, controlar fluxos de potência na rede e monitorar a segurança do sistema. O ISO tem o poder de alterar àqueles contratos que provocarem congestionamento na rede ou violarem restrições de segurança do sistema.

Os agentes destes intercâmbios econômicos se inter-relacionam conformando uma rede econômica, constituída dos agentes econômicos e dos valores contratados anteriormente à operação do sistema. As transações devidas ao intercâmbio com o mercado “*Spot*” (se existirem) não são pré-contratadas e não são consideradas nesta etapa.

Os intercâmbios pré-contratados formam uma rede econômica conforme ilustrado na Figura 1.

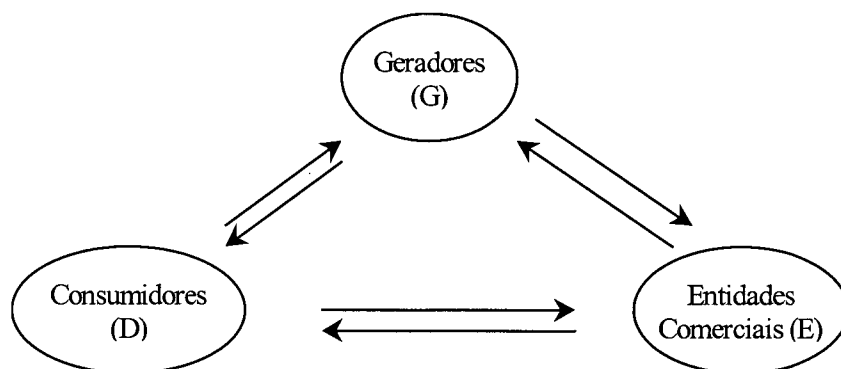


Figura 1: Rede Econômica.

As relações entre os agentes econômicos estão interrelacionadas com as considerações técnicas do sistema. A rede elétrica possui características que a diferenciam dos outros mercados: impossibilidade de armazenamento da energia, inter-relações estreitas entre as transações econômicas numa mesma rede, dependência das perdas do sistema com a quantidade e alocação da energia transmitida, etc. Estas considerações

requerem a existência de um operador da rede, o qual controla os fluxos de potência, respeitando as transações pré-determinadas. De acordo com o tipo de comercialização da energia, três tipos de modelagens do mercado são distinguidos: o mercado “Pool”, o mercado baseado em Transações Bilaterais e a combinação dos dois anteriores, denominada “Modelo Misto”.

O modelo “Pool” baseia-se nas ações de um Operador Central, que recebe preços e quantifica as ofertas dos geradores, selecionando a forma mais eficiente de suprir a demanda e satisfazer as restrições do sistema. O operador controla as transações financeiras que envolvem pagamentos dos consumidores aos geradores. O preço de referência para esses pagamentos é baseado nos preços declarados pelos geradores despachados e ajustados pelo operador do “Pool”. Estes preços visam refletir a locação dos geradores em termos da sua contribuição às perdas e as restrições da rede de transmissão. Esses preços ajustados são chamados de preços “spot” das barras. Transações bilaterais podem ser implementadas no modelo “Pool”, mediante a forma de “Contratos por Diferenças”[11, 12].

No modelo Bilateral, geradores e consumidores estabelecem transações de acordo com os seus próprios objetivos financeiros. Ao serem preferidos os preços mais baixos entre os geradores, a eficiência econômica se torna intrinsecamente relacionada ao mercado. Dois são os problemas associados a esta classe de mercado: as restrições de transmissão da rede, que requerem alguma forma de coordenação entre as transações para manter a segurança do sistema; e a distribuição das perdas do sistema de transmissão [11].

No modelo Misto, coexistem os dois anteriores, despachando-se as transações bilaterais e aplicando-se o modelo “Pool” ao resto (“Pool residual”).

A metodologia proposta neste trabalho é adequada para a sua utilização em qualquer um dos modelos antes citados.

2.3.As Transações.

Define-se *transação* como o intercâmbio de energia pré-contratado entre entidades compradoras e vendedoras [3]. Há um nível considerável de dificuldade em determinar os serviços ancilares (suprimento das perdas, suporte de reativo necessário para manter o perfil de tensão do sistema, etc.) antes da operação [4, 5], não sendo em geral estes serviços considerados como parte das transações pré-contratadas.

Vários tipos de transações podem ser definidos. Por simplicidade, neste trabalho serão considerados os seguintes quatro tipos de transação:

- **Transações Firmes:** ou de primeira ordem de prioridade (Tipo 1), as quais devem ser rigorosamente respeitadas sempre que a somatória das potências envolvidas neste tipo de transação não supere a potência demandada.
- **Transações Não-Firmes:** ou de segunda ordem de prioridade (Tipo 2), as quais devem ser consideradas sempre que a potência demandada na barra seja superior à somatória das Transações Firmes contratadas pela barra.
- **Transações de Seguimento de Carga:** ou de terceira ordem de prioridade (Tipo 3), as quais são consideradas quando a potência demandada é superior à somatória das transações Firmes e Não-Firmes. O valor atribuído a esse tipo de transação é o necessário para satisfazer a demanda (Esta classe de transações existe principalmente no Mercado Bilateral).
- **Transações com o Mercado a Preço “Spot”:** também de terceira ordem de prioridade (não especificadas como tipo de transação). Quando a potência demandada supera à somatória das transações Firmes e Não-Firmes, e não foram contratadas transações de seguimento de carga na barra, o mercado atribui a diferença ao preço “Spot” (calculado minimizando-se os custos de geração de potência ativa).

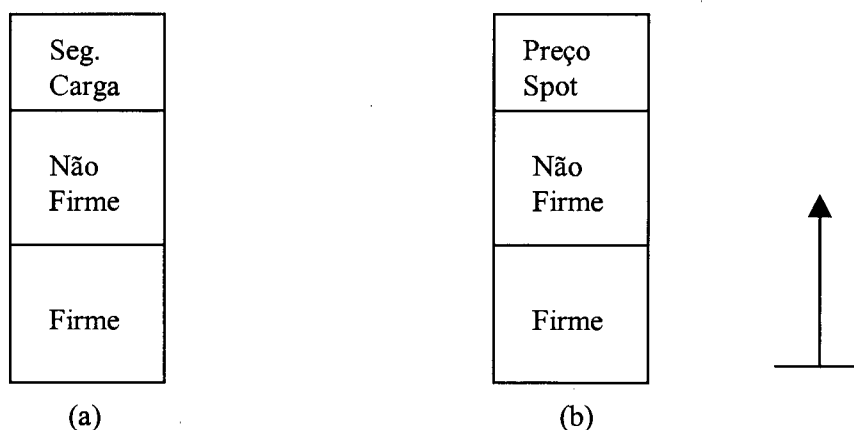


Figura 2: Níveis de Transações.

2.4.O Fluxo de Potência Ótimo

Durante as últimas décadas, o crescimento dos sistemas elétricos de potência em tamanho, número e complexidade, fez necessária a implementação de programas

computacionais de análise cada vez mais sofisticados para seu controle. A necessidade de um melhor aproveitamento dos recursos resultou na operação dos sistemas cada vez mais próximos ao limite da sua capacidade, o que originou o aparecimento de novos conceitos relacionados à segurança, economia e confiabilidade da rede elétrica. Além disso, o desenvolvimento das ferramentas computacionais (a expansão do hardware e software), tornou possível a implementação dos Centros de Controle. Uma das tarefas dos Centros de Controle é a otimização do ponto de operação da rede elétrica, em regime permanente [1,17].

A obtenção da solução das equações não-lineares associada à melhoria de um índice de desempenho da rede elétrica, representada por um problema de otimização definido como o Fluxo de Potência Ótimo (FPO), foi proposta na década de 60. No FPO, o objetivo é a determinação das potências ativa e reativa geradas, magnitude e ângulo da tensão nas barras e “taps” de transformadores, visando otimizar um determinado índice de desempenho.

O Fluxo de Potência Ótimo pode ser matematicamente representado como um problema de otimização da forma mostrada na equação (2.1).

$$\begin{array}{ll} \text{Minimizar } f(x) & (2.1) \\ \text{s.a} & h(x) = 0 \\ & g(x) \leq 0 \end{array}$$

onde; x é o vetor das variáveis de decisão, ou seja as variáveis que são direta ou indiretamente controladas para se atingir a otimalidade desejada; f é a função objetivo, ou seja, o índice de desempenho a ser otimizado; $h(x)$ é o vetor das restrições de igualdade, isto é, as equações de balanço de potência ativa e reativa; e $g(x)$ é o vetor das restrições de desigualdade que representam as limitações da operação.

As variáveis de decisão para alcançar a otimalidade desejada são, em geral: magnitude e ângulos das tensões nas barras, geração de potência ativa e reativa, fluxos de potência, taps dos transformadores LTC e elementos shunt (capacitores, reatores, etc.).

As restrições de igualdade e desigualdade geralmente utilizadas na modelagem são as equações convencionais do fluxo de potência e limites de todas as variáveis do sistema elétrico que possuam significado físico. A título de exemplo podem ser citados os limites

de fluxos de transmissão, limites de geração de potência ativa e reativa, limites de tensão nas barras e reservas ativa e reativa mínimas, etc.

A representação matemática dos elementos do problema de otimização conduz a um problema não-linear, estático, de grande porte, de complexidade e dificuldade acentuadas.

Da formulação anterior verifica-se que a otimização de um índice de desempenho não é mais concebida como um procedimento complementar ao da solução do Fluxo de Potência convencional, procurando-se agora a obtenção de soluções simultâneas das equações representativas da rede elétrica e do valor ótimo da função matemática que expressa o índice de desempenho a ser otimizado. Isto possibilita que um programa de Fluxo de Potência Ótimo seja usado com a mesma função anteriormente exercida pelo Fluxo de Carga do Operador.

Trabalhos recentes mostram que o Fluxo de Potência Ótimo pode se tornar viável nesta função principalmente sob dois aspectos [17]:

- o da operação em tempo real, isto é, efetuar o cálculo da solução ótima *em tempo real*, partindo dos dados reais correntes da carga e da operação.
- o de modo previsão, no qual são utilizados os dados de carga fornecidos pelo previsor de carga, para os próximos 15 ou 30 minutos, a partir do instante de fornecimento dos dados.

Apesar do desenvolvimento já alcançado, esforços ainda estão sendo direcionados no sentido de redução dos tempos de processamento e principalmente aumento na robustez e na confiabilidade da aplicação dos algoritmos do FPO a sistemas práticos.

No presente trabalho, visa-se a aplicação do FPO em sistemas que operam sob condições de mercados desregulamentados.

2.5. Serviços ancilares e perdas de potência ativa

De acordo com [3,4,5], Serviços Ancilares são definidos como todas as atividades agregadas de forma implícita à venda de energia elétrica, realizadas pelos usuários individuais no sistema interconectado e que não correspondem à venda explícita de energia.

Estes serviços podem ser efetuados por qualquer integrante da rede, mas a sua coordenação é centralizada. O mercado competitivo requer que estes serviços sejam desmembrados, tal que a eles sejam atribuídos preços, de forma que os mesmos sejam comercializados separadamente em subconjuntos para os usuários que deles necessitarem.

Os serviços ancilares podem ser classificados da seguinte forma :

- **Serviços Ancilares Requeridos Pelos Usuários Individuais:** por exemplo, o caso do suporte de potência reativa para manter o fator de potência dentro das especificações aceitáveis;
- **Serviços Necessários À Operação Do Sistema De Transmissão:** a natureza desses serviços é reagir em resposta às incertezas provocadas por modificações nas transações. Seu objetivo principal é facilitar um mercado competitivo em função de se operar o sistema de forma ótima.

Os serviços ancilares dependem, entre outros fatores, do nível de tensão do sistema assim como da distribuição de potência ativa e reativa gerada. Isto resulta em problemas na determinação de coeficientes para estabelecer preços fixos para a transmissão. Em geral, esses coeficientes devem ser calculados para cada nível de carga do sistema, o que exige a execução de um fluxo de potência convencional ou de um fluxo de potência ótimo. A inclusão de transações livres dentro da nova realidade obriga o mercado a atribuir individualmente aos diferentes participantes do mercado competitivo o custo dos Serviços Ancilares.

As perdas de potência ativa representavam um custo não trivial sob a estrutura integrada vertical do passado. Um estudo da indústria elétrica citado na referência [14] estima que as mesmas representam aproximadamente 4% do total de energia gerada, enquanto que na referência [3] são consideradas de 2% a 5% da potência ativa total gerada. Na nova realidade, com a possibilidade do estabelecimento das transações bilaterais, cada participante do mercado deve compensar a empresa de transmissão pela perda no sistema devida a cada transação efetuada. Apesar da importância deste fato, não existe ainda uma metodologia consagrada de alocação de perdas entre participantes de um mercado de energia elétrica. Para abordar este complexo problema, diferentes formulações foram propostas para refletir uma participação estimada nas perdas, desde cálculos baseados em históricos (recomendação da FERC) a formulações baseadas em preços nodais (New York ISO). Num mercado competitivo, podem ser consideradas pelo menos

três maneiras qualitativamente diferentes de compensar as perdas de transmissão incorridas pelas transações em vigor [6, pág. 53]:

- cada participante do mercado produz localmente a potência necessária para compensar as perdas de transmissão resultantes da sua própria transação;
- cada participante do mercado paga um preço adicional para que as perdas de transmissão sejam compensadas por outro participante do mercado, em forma independente do operador do sistema;
- o operador do sistema busca uma geração adicional para compensar a totalidade das perdas incorridas no sistema, minimizando o custo total das mesmas e distribuindo-as aos participantes do sistema.

A primeira alternativa apresenta o problema de que as perdas são dependentes do estado do sistema. Considerando a pouca disponibilidade de dados, é extremamente difícil pré-determinar para cada participante a quantidade de geração extra necessária para manter o sistema num ponto de equilíbrio.

A segunda alternativa apresenta grau de dificuldade semelhante ao da anterior e implica na execução de um contrato de seguimento de carga com um terceiro participante, tendo que se pré-estabelecer a quantidade a ser gerada para cobrir as perdas incorridas.

A terceira alternativa é a mais factível de ser implementada, sendo o operador do sistema responsável pela compensação das perdas de forma centralizada e em benefício comum de todos os integrantes do sistema [6]. Por isto, a compensação das perdas de potência ativa se qualifica como um serviço ancilar e dessa forma é tratada no texto subsequente.

2.6.Conclusões.

Em sistemas de energia elétrica re-estruturados, verifica-se a existência de uma rede econômica distinta da rede física. A inter-relação entre os diferentes agentes componentes desta rede modifica o modelo de operação do sistema, o qual basicamente pode ser do tipo Bilateral, Pool ou Misto. Dentro desta realidade, surgem os conceitos e tipos de transação de energia baseados na sua hierarquização. Adicionalmente, modelos representativos para a compensação das perdas de transmissão dentro da nova realidade do mercado têm sido estabelecidos. Com relação a esses modelos, o presente trabalho enfoca a minimização do custo das perdas como uma tarefa do operador do sistema, o que implica em que estas perdas são tratadas como um serviço ancilar. A formulação do FPO permite determinar o

despacho econômico com restrições operativas, sendo uma ferramenta fundamental para que o operador do sistema minimize o custo das perdas de potência ativa do sistema de transmissão.

Capítulo 3

Trabalho proposto

3.1.Introdução.

Neste capítulo são apresentados os fundamentos teóricos dos três tópicos enfocados no presente trabalho. Primeiramente, é apresentada a forma de inclusão das transações de energia na formulação no problema de Fluxo de Potência Ótimo (FPO) introduzindo-se uma quantidade mínima de variáveis, decorrente da modificação dos limites de geração de potência ativa. Posteriormente, é mostrada a base teórica do FPO, e das duas versões do algoritmo de pontos interiores Não-Linear (Primal-Dual Convencional e Máximo Passo na Direção do Caminho Central). Por fim, são apresentadas as formulações dos diferentes métodos encontrados na literatura para a alocação de perdas às transações de energia.

3.2.Representação das Transações.

Os agentes econômicos relacionam-se entre si pré-contratando energia, conformando uma rede econômica. As transações econômicas constituem uma complexa rede em vários níveis, estes relacionados às classes de transações pré-contratadas.

Na literatura [2, 3, 6], em geral uma única classe de transações tem sido analisada. Esta simplificação permite a representação da rede econômica por uma matriz (denominada de matriz de transações). Entretanto, esta consideração pode não ser realística

em muitos sistemas. As transações econômicas na maioria dos sistemas desregulamentados são hierarquizadas, permitindo a existência de vários preços simultâneos que interagem numa única transferência de energia entre duas barras.

A representação fornecida na Figura 1 para a rede econômica pode ser dividida em vários níveis, dependendo das classes de transações consideradas. As classes de contratos apresentadas na seção 2.3, fornecem três matrizes de transações, correspondentes às transações Firmes, Não-Firmes e de Seguimento de Carga. Na presente formulação, as três matrizes são tratadas conjuntamente.

As transações pré-contratadas no sistema são armazenadas em forma esparsa, segundo representado na Figura 3.

Transação	Entidade Vendedora	Entidade Consumidora	Valor Pré- contratado	Tipo de Transação
1	X	X	xx	x
...				
Nt	X	X	xx	x

Figura 3: Representação das Transações na Rede Econômica.

De acordo com a Figura 3, as *nt* transações são representadas pelos números das entidades econômicas vendedora e compradora, o valor de potência ativa pré-contratada e o tipo de transação, segundo a hierarquização estipulada na seção 2.3. A representação requer 3 vetores inteiros e 1 vetor real (o valor pré-contratado).

3.3.Localização das Entidades Econômicas nas Barras do Sistema.

As *Ne* entidades econômicas devem ser relacionadas às barras nas quais atuam, o que é representado pelo vetor da Figura 4.

Entidade Econômica:	1	...	Ne
Barra Atuante:	X	...	X

Figura 4: Residência das Entidades Econômicas nas Barras do Sistema.

Note-se que é possível existir entidades econômicas não localizadas fisicamente em nenhuma barra do sistema. As Entidades Comerciais, sendo entidades financeiras que não

produzem nem consomem energia, comportam-se na rede econômica como as barras de transferência da sistema elétrico. Para um tratamento efetivo das transações econômicas na rede elétrica, é necessário eliminar estas entidades.

As Entidades Comerciais são representadas na equação,

$$\sum_{i=1}^{nt_{ek}} Tek_i - \sum_{i=1}^{nt_{sk}} Tsk_i = 0 \quad (3.1)$$

onde nt_{ek} é o número de transações de compra Tek da Entidade Comercial k ; e nt_{sk} é o número de transações Tsk de venda da mesma entidade.

Nas diferentes formas de desregulamentação do mercado, as seguintes duas maneiras de representar as Entidades Comerciais são encontradas:

- Entidades Comerciais com barra de residência - Se as entidades comerciais possuem uma barra de residência, supõe-se que os fluxos de potência comercializados pela entidade devem fluir para esta barra. Assim, nesta modelagem as Entidades Comerciais podem ser representadas por uma entidade compradora e outra vendedora, atuantes na mesma barra.
- Entidades Comerciais sem barra de residência - nesta modelagem, as Entidades Comerciais são consideradas entidades estritamente financeiras.

Se as entidades não possuem barra de residência, elas são distinguíveis por um valor nulo no vetor da Figura 4. A energia vendida a uma entidade compradora por uma entidade comercial deve ser proveniente de uma entidade vendedora, satisfazendo a equação (3.1). A entidade comercial só modifica o preço de venda da energia, pelo seu trabalho em corrigir a transação. Se esta informação é disponível ao sistema, as entidades comerciais podem ser eliminadas das matrizes mostradas na Figura 3. Por exemplo: suponha-se uma transação firme de venda entre as entidades comercial E_i e compradora C_j . Então deve existir na representação da Figura 3 uma transação de compra entre a mesma entidade comercial E_i e uma entidade vendedora V_k da mesma quantidade de energia. Assim, a entidade comercial pode ser eliminada incluindo uma transação entre as entidades V_k e C_j pela mesma quantidade de energia.

O seguinte passo consiste na modelagem das transações no sistema elétrico, através do vetor da Figura 4, que atribui residências às Entidades Econômicas nas barras. Isto resulta na representação das Transações Equivalentes mostrada na Figura 5.

Transação	Barra Origem	Barra Final	Valor Pré-contratado	Tipo de Transação
1	X	X	xx	x
...				
Nte	X	X	xx	x

Figura 5: Representação das Transações na Rede Elétrica.

onde *nte* é o número de transações equivalentes, depois de serem reduzidas às entidades comerciais.

Apesar de similar no seu conceito à modelagem utilizada na literatura [3, 6], a representação apresentada na Figura 5 permite a consideração de mais de uma classe de transações entre duas barras.

3.4. Relação entre as Transações Pré-Contratadas e a Demanda Real.

Na ausência de violações nas restrições do sistema, as transações pré-contratadas são efetivamente despachadas quando não superam o valor de potência demandada. Na realidade, as entidades compradoras estimam sua demanda num instante futuro. A fim de suprir essa demanda, as entidades consumidoras contratam o total ou parte deste valor, visando o menor custo da energia. Na hora do consumo efetivo podem ocorrer duas situações:

- se a demanda real supera a potência contratada, a entidade consumidora deverá comprar a diferença de energia ao mercado “Spot” ou através de contratos de seguimento de carga;
- se a demanda real é inferior à potência contratada, alguns dos contratos não serão satisfeitos integralmente.

A decisão de quais contratos serão total ou parcialmente satisfeitos, no caso em que não existe violação das restrições do sistema, deve ser tomada respeitando a decisão do consumidor e constitui um problema de difícil solução, que envolve fatores econômicos e técnicos. Em primeiro lugar, a hierarquização das classes de contratos está presente na

maioria dos mercados desregulamentados. Uma classe de transações deve ser respeitada totalmente sempre que a somatória das transações na classe e nas precedentes na ordem de prioridade não supere a potência demandada. Como representado na Figura 2, o valor da potência demandada determina a classe na qual as transações não são totalmente satisfeitas, e indica se existem classes cujas transações não são consideradas. Por exemplo, se a demanda é superior à somatória das transações firmes pré-contratadas e inferior à soma das transações firmes e não-firmes, todas as transações Firmes serão respeitadas, as transações não-firmes serão reduzidas a fim de se adaptarem à demanda, e as transações pré-contratadas de seguimento de carga não são consideradas. Também, no presente caso, não são consideradas transações com o mercado “spot” para transferência de potência, apenas aquelas correspondentes à compensação de perdas (de acordo à definição feita na seção 2.5).

Uma vez determinada a classe (se existir) na qual as transações devem ser reduzidas, deve-se escolher um critério para a redução. Existem pelo menos dois critérios que podem ser utilizados:

- Repartição Proporcional: as transações são reduzidas proporcionalmente, até que a somatória das transações efetivamente despachadas iguale a demanda. Para este critério, é calculado um fator de proporcionalidade horário que reduza as transações ao valor desejado;
- Repartição por Preferências: a entidade consumidora pode fornecer uma listagem da hierarquização desejada de corte de transações. Se for necessária a redução das transações, esta é realizada primeiro nas com hierarquia menor. As preferências podem ser devidas aos custos de venda da energia, relações comerciais, etc. Neste caso, basta utilizar fatores de proporcionalidade horários unitários para as transações a serem respeitadas totalmente, nulos para as desconsideradas, intermediário entre 0 e 1 para outros tipos de transação.

Os dois critérios anteriores podem coexistir, respeitando-se totalmente algumas transações pela preferência da entidade consumidora, e diminuindo as restantes transações proporcionalmente. Neste trabalho, por simplicidade a repartição proporcional estrita é utilizada.

Para a presente análise, podem ser considerados três casos:

Caso 1: Potência consumida na barra menor do que a somatória das transações de potência firmes contratadas na barra.

As transações firmes são reduzidas proporcionalmente. Seja T_{ij}^F a transação de Potência ativa Firme contratada entre as barras i e j . O Fator Horário da barra j deve satisfazer a equação (3.2)

$$P_j^d = FH_j^F \sum_{i=1}^{i=n} T_{ij}^F \quad i=1 .. n \quad (3.2)$$

onde, P_j^d é a potência demandada na barra j ; FH_j^F é o fator de proporcionalidade horário das transações firmes; e n o número de barras do sistema.

Neste caso, as transações não-firmes e de seguimento de carga não são consideradas na barra, atribuindo-se fatores horários nulos para estes intercâmbios $FH_j^{NF} = 0.0$ e $FH_j^{SC} = 0.0$.

Caso 2: Potência consumida na barra maior ou igual do que a somatória das transações firmes contratadas na barra e menor à somatória das potências firmes e não-firmes contratadas na barra.

O valor de potências contratadas firmes na barra não sofre modificação, atribuindo-se fatores horários unitários para todas essas transações ($FH_j^F = 1.0$).

As transações não-firmes são diminuídas proporcionalmente. Seja T_{ij}^{NF} a transação de potência ativa não-firme contratada entre as barras i e j ,

$$(P_j^d - \sum_{i=1}^{i=n} T_{ij}^F) = FH_j^{NF} \sum_{i=0}^{i=n} T_{ij}^{NF} \quad i=1 .. n \quad (3.3)$$

onde, FH_j^{NF} é o fator de proporcionalidade horário das transações não-firmes.

As transações de seguimento de carga não são consideradas ($FH_j^{SC} = 0.0$)

Caso 3: Potência consumida na barra maior ou igual à somatória das potências firmes e não-firmes contratadas na barra.

O valor de potências contratadas firmes e não-firmes não sofre modificação, $FH_j^F = 1.0$, $FH_j^{NF} = 1.0$.

As transações de seguimento de carga são sinalizadas por um fator $FH_j^{SC}=1.0$

3.5. Relação entre as Transações Pré-Contratadas e a Geração Mínima.

Conforme explicitado anteriormente, a obrigatoriedade de fornecimento da potência pré-contratada impõe limites mínimos na geração das unidades, diferentes dos limites técnicos mínimos das máquinas. O gerador deve fornecer ao sistema pelo menos a potência pré-contratada. Além desta quantidade, a unidade geradora fornece ao sistema energia para possíveis vendas de energia ao Mercado “Spot”. Estas últimas quantidades são determinadas após o despacho, não sendo conhecidas "a priori".

A potência mínima a ser fornecida depende dos fatores de proporcionalidade horários determinados anteriormente. Em primeira instância, a unidade geradora deverá fornecer ao sistema uma quantidade mínima de potência ativa determinada pela somatória das potências pré-contratadas, afetadas pelos fatores de proporcionalidade horários, como expressa a equação

$$PI_i^{\min} = \sum_{j=1}^{j=n} (FH_j^F T_{ij}^F + FH_j^{NF} T_{ij}^{NF} + FH_j^{SC} (P_j^d - \sum_{i=0}^{i=n} (T_{ij}^F + T_{ij}^{NF}))) \quad j=1 \dots n \quad (3.4)$$

onde, PI_i^{\min} é o limite mínimo irrestrito de geração na barra i ; e n é o número de barras do sistema.

Existem limites que condicionam o fornecimento da geração mínima. Algumas restrições para o fornecimento do valor mínimo de potência são:

- **Limites na Geração da barra:** Os limites dos geradores devem serem satisfeitos, pelo que devem ser consideradas as restrições seguintes:

$$P_{gi}^m \leq PI_i^{\min} \leq P_{gi}^M \quad i=1 \dots n_g \quad (3.6)$$

- **Limites na capacidade de transmissão da barra:** em situações de congestionamento, a barra pode gerar a potência mínima demandada, mas as linhas de transmissão podem impor limites na transferência. Define-se então o valor máximo de transmissão da barra P_i^{Tr-max} como o valor máximo que pode ser transmitido pela barra i .

Considerando-se estes limites, a potência mínima a ser gerada pela barra é determinada pelas equações (3.7) e (3.8).

$$PRM_i^{min} = \min \{ P_i^{min}, P_{gi}^M, P_i^{Tr-max} \} \quad (3.7)$$

$$P_i^{min} = \max \{ PRM_i^{min}, P_{gi}^{min} \} \quad (3.8)$$

onde PRM_i^{min} é a potência mínima a ser gerada na barra i , restrita pelas equações de máximo; P_{gi}^{min} é o mínimo técnico do gerador; e P_i^{min} é o valor mínimo de geração na mesma barra.

Após modificados os limites inferiores de geração de potência ativa para incluir as transações de energia pré-contratadas, executa-se o FPO. O algoritmo a seguir sumariza os passos tomados para esta finalidade.

Algoritmo

- 1- Montagem das transações equivalentes.
- 2- Cálculo dos vetores dos fatores horários (critério proporcional).

Caso I $P_j^d < \sum T_{ij}^F$

$$FH_i^F = \min \{ P_j^d / (\sum P_{ij}), 1.0 \} \quad i=1 \dots n$$

$$FH_i^{NF} = 0.0 \quad i=1 \dots n$$

$$FH_i^{SC} = 0.0 \quad i=1 \dots n$$

Caso II $\sum T_{ij}^F < Pd_i < \sum T_{ij}^F + \sum T_{ij}^{NF}$

$$FH_i^F = 1.0 \quad i=1 \dots n$$

$$FH_i^{NF} = \min \{ (Pd_i - \sum T_{ij}^F) / (\sum P_{ij}), 1.0 \} \quad i=1 \dots n$$

$$FH_i^{SC} = 0.0 \quad i=1 \dots n$$

Caso III $(\sum T_{ij}^F + \sum T_{ij}^{NF}) < Pd_i$

$$FH_i^F = 1.0$$

$$FH_i^{NF} = 1.0$$

$$FH_i^{SC} = 1.0 \quad i=1 \dots n$$

- 3- Modificação das potências mínimas de geração.

$$P_i^{min} = \min \left\{ \sum_{j=1}^{j=n} (FH_j^F T_{ij}^F + FH_j^{NF} T_{ij}^{NF} + FH_j^{SC} (P_j^d - \sum_{i=0}^{i=n} (T_{ij}^F + T_{ij}^{NF}))), P_j^{Tr-max} \right\} \quad j=1 \dots n$$

$$P_{gi}^m \leq P_i^{min} \leq P_{gi}^M$$

- 4- FPO
 - 5- Atribuição das perdas às transações.
-

3.6.O Fluxo de Potência Ótimo

Na etapa de despacho, o FPO é resolvido minimizando os preços de geração das potências ativas no sistema, com as potências mínimas de geração estipuladas conforme estabelecido na seção (3.5). Os intercâmbios não contratados são determinados em função das curvas de preços fornecidas pelos geradores num FPO convencional, respeitando-se as transações pré-contratadas. A função-objetivo utilizada é representada por:

$$\min \quad \left\{ \sum_i (a_i + b_i * Pg_i + c_i * Pg_i^2) \right\} \quad (3.9)$$

onde, Pg_i é a potência gerada na barra i ; a_i , b_i e c_i são os coeficientes constantes, linear e quadrático da curva de preço de geração da mesma barra, respectivamente.

As referências [2, 3, 6], propõem a solução do problema em questão, via minimização do desvio das transações pré-contratadas. É na modelagem do FPO onde estão as principais vantagens da presente proposta. Essas vantagens são citadas a seguir.

- Consideração das curvas de preço dos geradores na determinação das perdas e das prováveis transferências ao mercado “Spot”;
- Não necessidade da modelagem explícita das transações como variáveis de otimização, com manutenção da dimensão do problema de otimização;
- Não necessidade da representação dos limites máximo e mínimo nas transações, o que é de relativa aplicação prática e causa aumento no número de restrições do sistema;

Neste trabalho, são utilizados dois algoritmos de otimização não-lineares: o convencional de Pontos Interiores Primal-Dual [7, 8] e o do Máximo Passo na Direção do Caminho Central [21]. A base teórica destes algoritmos é apresentada nas seções seguintes.

Além das variáveis tradicionalmente utilizadas nos problemas de FPO (módulo e ângulo das tensões nas barras), por simplicidade na formulação é utilizada como variável de otimização a potência ativa gerada pelas unidades. As curvas de preços dos geradores são representadas por funções quadráticas. Maiores detalhes da implementação podem ser encontradas nos trabalhos [9, 10].

3.7.O Método de Pontos Interiores Primal-Dual, versão Não-Linear.

Considere-se o seguinte problema de otimização

$$\text{Minimizar } f(\underline{x}) \quad (3.10.a)$$

$$\text{sujeito a } \underline{h}(\underline{x}) = \underline{0} \quad (3.10.b)$$

$$\underline{g}(\underline{x}) \leq \underline{0} \quad (3.10.c)$$

onde \underline{x} é o vetor das variáveis de otimização; f é a função objetivo; $\underline{h}(\underline{x})$ é o vetor das restrições de igualdade; e $\underline{g}(\underline{x})$ é o vetor das restrições de desigualdade.

A função Lagrangeana associada ao problema (3.10) é dada por

$$L(\underline{x}, \underline{\lambda}_h, \underline{\lambda}_g) = f(\underline{x}) + \underline{\lambda}_h^T \underline{h}(\underline{x}) + \underline{\lambda}_g^T \underline{g}(\underline{x}) \quad (3.11)$$

onde $\underline{\lambda}_h$ e $\underline{\lambda}_g$ são os multiplicadores de Lagrange das restrições de igualdade e desigualdade, respectivamente.

A aplicação das condições de otimalidade de Karush-Kuhn-Tucker (KKT) ao problema (3.11) resulta nas equações (3.12).

$$\underline{\nabla}_{\underline{x}} L(\underline{x}, \underline{\lambda}_h, \underline{\lambda}_g) = \underline{0} \quad (3.12.a)$$

$$\underline{h}(\underline{x}) = \underline{0} \quad (3.12.b)$$

$$\underline{g}(\underline{x}) \leq \underline{0} \quad (3.12.c)$$

$$[\underline{\lambda}_g] \underline{g}(\underline{x}) = \underline{0} \quad (3.12.d)$$

$$\underline{\lambda}_g \geq \underline{0} \quad (3.12.e)$$

onde $\underline{\nabla}_{\underline{x}} L(\underline{x}, \underline{\lambda}_h, \underline{\lambda}_g) = \underline{\nabla}_{\underline{x}} f(\underline{x}) + \underline{\nabla}_{\underline{x}} \underline{h}(\underline{x}) \underline{\lambda}_h + \underline{\nabla}_{\underline{x}} \underline{g}(\underline{x}) \underline{\lambda}_g$ é a primeira derivada da função Lagrangeana em relação a \underline{x} ; e a notação $[..]$ representa a matriz diagonal dos elementos considerados.

No processo iterativo baseado no Método de Pontos Interiores duas modificações das condições de KKT são realizadas: a conversão das restrições de desigualdade (3.10.c) em igualdades, através do uso de variáveis de folga, e a perturbação da condição de complementaridade (3.12.d). O Método de Pontos Interiores Primal-Dual para programação não-linear pode ser resumido nos seguintes passos [7]:

- a) transformação das restrições de desigualdade (3.10.c) em igualdades através das variáveis de folga $\underline{s} \geq \underline{0}$;

- b) perturbação da condição de complementaridade (3.12.d) através da introdução do parâmetro $\mu \geq 0$;
- c) resolução do sistema de equações não-lineares resultante pelo Método de Newton.

A aplicação do itens a) e b) nas equações (3.12) resulta no sistema de equações não-lineares (3.13).

$$\nabla_x L(\underline{x}, \underline{\lambda}_h, \underline{\lambda}_g) = 0 \quad (3.13.a)$$

$$\underline{h}(\underline{x}) = 0 \quad (3.13.b)$$

$$\underline{g}(\underline{x}) + \underline{s} = 0 \quad (3.13.c)$$

$$[\underline{\lambda}_g] \underline{s} - \mu \underline{e} = 0 \quad (3.13.d)$$

$$(\underline{s}, \underline{\lambda}_g, \mu) \geq 0 \quad (3.13.e)$$

onde, μ é o chamado parâmetro de perturbação e \underline{e} é o vetor unitário $(1, \dots, 1)^T$ de dimensão adequada. O parâmetro de perturbação μ deve convergir a zero durante as iterações para que as condições de KKT (3.12) sejam satisfeitas no ponto ótimo, e deve ser não-negativo a fim de satisfazer (3.13.e). Uma forma de computar μ é através da distância primal-dual, calculando-se o parâmetro da perturbação como a média das distâncias ao ponto ótimo, medidas nas restrições de complementaridade. Este valor é afetado por uma constante $0 < \sigma < 1$, denominada parâmetro de combinação das direções. O parâmetro μ pode ser calculado através da expressão (3.14) a seguir [8].

$$\mu = \sigma \frac{\lambda'_g s}{nd} \quad (3.14)$$

onde nd é o número de restrições de desigualdades presentes em $g(x)$.

As condições necessárias para a utilização do método de Newton são [7]:

- a) Existência de um ponto ótimo $(\underline{x}^*, \underline{s}^*, \underline{\lambda}_h^*, \underline{\lambda}_g^*)$, solução do problema (3.10) que satisfaça as condições de KKT (3.13);
- b) Existência e continuidade das segundas derivadas parciais locais no ponto ótimo;
- c) Regularidade: Os vetores gradiente das restrições de igualdade e restrições de desigualdade no limite, no ponto ótimo, são linearmente independentes;

- d) Suficiência de Segunda Ordem: Para todo $\eta \neq 0$ que satisfaz $\nabla h_i(\underline{x})^t \eta = 0$ e $\nabla g_i(\underline{x})^t \eta = 0$ no ponto ótimo, é $\eta^t \nabla_x^2 L(\underline{x})^t \eta > 0$.
- e) Complementaridade Estrita: Para todo i , $\lambda_{gi} + g_i(\underline{x}) > 0$ no ponto ótimo.

As equações não-lineares (3.13) são resolvidas via método de Newton. A base deste método consiste na expansão das funções não lineares em série de Taylor até o termo de primeiro grau, resultando numa aproximação linear. Assim, a solução do sistemas de equações não-lineares (3.13) é obtida iterativamente através da resolução de sistemas lineares da forma

$$\begin{bmatrix} \nabla_x^2 L & \nabla h(\underline{x}) & \nabla g(\underline{x}) & 0 \\ \nabla h(\underline{x})^t & 0 & 0 & 0 \\ \nabla g(\underline{x}) & 0 & 0 & [e] \\ 0 & 0 & [\underline{s}] & [\underline{\lambda}_g] \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} \Delta \underline{x} \\ \Delta \underline{\lambda}_h \\ \Delta \underline{\lambda}_g \\ \Delta \underline{s} \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} \nabla_x L(\underline{x}, \underline{\lambda}_h, \underline{\lambda}_g) \\ h(\underline{x}) \\ g(\underline{x}) + \underline{s} \\ [\underline{\lambda}_g] \underline{s} - \mu \underline{e} \end{bmatrix} \quad (3.15)$$

Note-se que as submatrizes da última linha e coluna da equação (3.15) são diagonais. Isso permite, através de artifícios matemáticos simples conforme mostrado na referência [8], reduzir este sistema linear de forma a determinar numa primeira etapa as variáveis $\Delta \underline{x}$ e $\Delta \underline{\lambda}_h$.

$$\begin{bmatrix} H & J \\ J^t & 0 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} \Delta \underline{x} \\ \Delta \underline{\lambda}_h \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} t_1 \\ t_2 \end{bmatrix} \quad (3.16.a)$$

e posteriormente obter o valor das variáveis de folga e correspondentes multiplicadores.

$$\Delta \underline{s} = -g(\underline{x}) - \underline{s} - \nabla g(\underline{x}) \Delta \underline{x} \quad (3.16.b)$$

$$\Delta \underline{\lambda}_g = [\underline{\lambda}_g] \underline{e} + [\underline{s}^{-1}] * \left\{ \mu \underline{e} - [\underline{\lambda}_g] \Delta \underline{s} \right\} \quad (3.16.c)$$

$$\text{onde: } H = \nabla_x^2 L + \nabla g(\underline{x})^t [\underline{s}^{-1}] [\underline{\lambda}_g] \nabla g(\underline{x}); \quad (3.17.a)$$

$$J = \nabla h(\underline{x}) \quad (3.17.b)$$

$$\underline{t}_1 = -\nabla_{\underline{x}} L(\underline{x}, \underline{\lambda}_h, \underline{\lambda}_g) - \nabla_{\underline{g}}(\underline{x})^t \left[\underline{s}^{-1} \right] * \left(\mu \underline{e} + \left[\underline{\lambda}_g \right] \underline{g}(\underline{x}) \right) \quad (3.17.c)$$

$$\underline{t}_2 = -\underline{h}(\underline{x}) \quad (3.17.d)$$

Após a resolução das equações (3.16), devem ser tomadas precauções que garantam a não-negatividade dos elementos dos vetores \underline{s} e $\underline{\lambda}_g$, tal como expresso nas equações (3.13.b). Nesse sentido são utilizados dois passos, um correspondente às variáveis primais e outro para as duais. Eles são calculados segundo a expressão (3.18).

$$\alpha_p = \min \left[\min_{\Delta s_j < 0} \frac{s_j}{|\Delta s_j|}, 1.0 \right] \quad (3.18.a)$$

$$\alpha_d = \min \left[\min_{\Delta \lambda_{gj} < 0} \frac{\lambda_{gj}}{|\Delta \lambda_{gj}|}, 1.0 \right] \quad (3.18.b)$$

Calculados os fatores de passo, atualizam-se as variáveis primais e duais do problema, segundo a expressão (3.19) [8; 17; 21].

$$\underline{x}^{k+1} = \underline{x} + 0.99995 \alpha_p \Delta \underline{x} \quad (3.19.a)$$

$$\underline{s}^{k+1} = \underline{s} + 0.99995 \alpha_p \Delta \underline{s} \quad (3.19.b)$$

$$\underline{\lambda}_h^{k+1} = \underline{\lambda}_h + 0.99995 \alpha_d \Delta \underline{\lambda}_h \quad (3.19.c)$$

$$\underline{\lambda}_g^{k+1} = \underline{\lambda}_g + 0.99995 \alpha_d \Delta \underline{\lambda}_g \quad (3.19.d)$$

onde o fator 0.99995 tem por finalidade que o novo ponto pertença ao conjunto de soluções fátíveis.

Da formulação anterior, é possível estabelecer o seguinte algoritmo para o método de Pontos Interiores Não-Linear Primal-Dual convencional.

Algoritmo do Método de Pontos Interiores Não-Linear Primal-Dual convencional.

1. Inicialização: Seja um ponto inicial $(\underline{x}_0, \underline{s}_0, \underline{\lambda}_{h0}, \underline{\lambda}_{g0})$, com $(\underline{s}_0, \underline{\lambda}_{g0}) > \underline{0}$.
 2. Cálculo de μ segundo (3.14).
 3. Resolução do sistema linear (3.16.a) e as equações auxiliares (3.16.b e c).
 4. Cálculo dos fatores de passo através de (3.18).
 5. Atualização das variáveis via (3.19).
 6. Teste de Convergência.
 7. Atualização das equações (3.16).
-

3.8.O Algoritmo de Máximo Passo na Direção do Caminho Central

Os algoritmos primais-duais de trajetória central se caracterizam por atingir o ponto ótimo através de um caminho central às restrições de desigualdade, medido em função das distâncias primais-duais. Define-se *distância primal-dual* numa restrição de desigualdade i , como o produto da expressão primal $g_i(\underline{x})$ vezes o valor da variável dual correspondente λ_i . Sendo, da expressão (3.13.c), $\underline{s} = -\underline{g}(\underline{x})$, a distância primal-dual é geralmente formulada em função das variáveis de folga \underline{s} [21].

A equação (3.14), mostrada na seção anterior expressa o cálculo do parâmetro de perturbação como a distância média primal-dual ($\hat{\mu}$) de todas as restrições de desigualdade do problema, afetadas pelo parâmetro σ , como expressa a equação (3.20).

$$\hat{\mu} = \sigma \mu \quad (3.20)$$

onde, $\hat{\mu} = \frac{\lambda_s^T \underline{s}}{nd}$ é o valor da média das distâncias primal-duais nas restrições de desigualdade numa iteração e é única.

Considerando-se o parâmetro $0 < \sigma < 1$, o processo iterativo diminui a média das distâncias primal-duais ($\hat{\mu}$) a cada iteração, conforme é demonstrado em [7]. Na convergência, para um valor de σ adequado, são satisfeitas as condições de otimalidade do problema original sem perturbação ($\mu = 0$), tendo-se portanto atingido o ponto ótimo desejado. Entretanto, a equação (3.20) não é a única expressão possível para estabelecer a variação de μ . Em princípio, é requerido apenas que μ decresça a zero, com valores não-negativos, ao longo das iterações. Em [7], é provada a convergência de um algoritmo de otimização não linear de Pontos Interiores, calculando-se μ através da mínima distância primal-dual numa iteração. O cálculo do parâmetro σ também apresenta variações na literatura [8; 18; 20; 19].

A expressão (3.14), utilizada para o cálculo de μ , contém o parâmetro de combinação das direções σ , com limites $0 \leq \sigma \leq 1$. Duas escolhas de σ são de particular interesse [19]:

- $\sigma = 0$; denominado direção *afim-escala*. Se somente a direção afim-escala for utilizada ao longo do processo iterativo, a procura pelo ponto ótimo pode ser interpretada como a solução não perturbada das condições de KKT;
- $\sigma = 1$, denominado direção de *centralização*. Neste caso, um conjunto de equações não-lineares que não correspondem às condições de KKT do problema original é resolvido. Isso implica em que, se só a direção de centralização for utilizada no processo iterativo, uma solução não ótima é atingida sem uma considerável diminuição do valor inicial de μ .

O valor entre esses limites representa uma combinação linear das direções afim-escala e de centralização. Para reduzir o valor de μ durante o processo iterativo, é necessário que seja cumprida a restrição $0 \leq \sigma \leq 1$ [7]. Assim, os algoritmos de trajetória central estabelecem uma combinação entre as direções afim-escala e de centralização no interior da região viável, visando melhorar as características de convergência do processo iterativo.

No método de Pontos Interiores não linear primal-dual, na sua forma convencional, é proposta a especificação prévia do valor de σ entre os dois limites considerados, o que implica em que a combinação linear das direções é constante ao longo do processo iterativo. Em geral, um valor próximo a 0,1 fornece bons resultados de convergência, mas o valor ótimo de σ (aquele que requer o menor número de iterações para obter a solução) depende do problema a ser resolvido [19].

Baseado no princípio de superposição segue que os passos de Newton (3.16) satisfazem a equação

$$(\Delta \underline{x}, \Delta \underline{s}, \Delta \underline{\lambda}_h, \Delta \underline{\lambda}_g) = \sigma (\Delta \underline{x}^c, \Delta \underline{s}^c, \Delta \underline{\lambda}_h^c, \Delta \underline{\lambda}_g^c) + (1-\sigma) (\Delta \underline{x}^{a-s}, \Delta \underline{s}^{a-s}, \Delta \underline{\lambda}_h^{a-s}, \Delta \underline{\lambda}_g^{a-s}) \quad (3.21)$$

onde $(\Delta \underline{x}^{a-s}, \Delta \underline{s}^{a-s}, \Delta \underline{\lambda}_h^{a-s}, \Delta \underline{\lambda}_g^{a-s})$ e $(\Delta \underline{x}^c, \Delta \underline{s}^c, \Delta \underline{\lambda}_h^c, \Delta \underline{\lambda}_g^c)$ são a solução das equações (3.16) na presente iteração com $\sigma = 0$ e $\sigma = 1$ respectivamente.

Pode-se notar de (3.21) que, dependendo do valor de σ existem infinitos caminhos de busca que levam ao ponto ótimo. O ponto $(\underline{x}, \underline{s}, \underline{\lambda}_g)$ realmente está no caminho central se ele satisfaz as equações (3.13.c), (3.13.e) e $[\underline{\lambda}_g] \underline{s} = \mu \underline{e}$. Portanto, numa iteração

qualquer é possível avaliar o desvio desta condição, definindo-se a *proximidade primal-dual à trajetória central* δ como:

$$\delta(\underline{\lambda}_g, \underline{s}, \mu) = \left\| \frac{[\underline{\lambda}_g]^T \underline{s}}{\mu} - \underline{e} \right\| \quad (3.22)$$

onde $\|\dots\|$ representa a norma euclidiana.

O algoritmo de máximo passo na direção do caminho central procura a solução ótima através de uma trajetória vizinha ao caminho central. Na próxima iteração o ponto deve estar a uma distância pré-especificada δ do caminho central. Para este propósito, σ é calculado para satisfazer a equação

$$\delta(\underline{\lambda}_g, \underline{s}, \mu) = \left\| \frac{[\underline{\lambda}_g^{k+1}]^T \underline{s}^{k+1}}{\sigma \mu} - \underline{e} \right\| \quad (3.23)$$

Os passos α_p e α_d são avaliados depois da determinação das direções de busca. Por isso a equação (3.21) pode ser aproximada pela expressão

$$(\underline{x}^{k+1}, \underline{s}^{k+1}, \underline{\lambda}_h^{k+1}, \underline{\lambda}_g^{k+1}) \approx (\underline{x}, \underline{s}, \underline{\lambda}_h, \underline{\lambda}_g) + (\Delta \underline{x}, \Delta \underline{s}, \Delta \underline{\lambda}_h, \Delta \underline{\lambda}_g) \quad (3.24)$$

Conseqüentemente o produto primal-dual é expresso na equação (3.25).

$$(\underline{\lambda}_g^{k+1})^T \underline{s}^{k+1} = (\underline{\lambda}_g)^T \underline{s} + (\underline{\lambda}_g)^T \Delta \underline{s} + (\Delta \underline{\lambda}_g)^T \underline{s} + (\Delta \underline{\lambda}_g)^T \Delta \underline{s} \quad (3.25)$$

A substituição da equação (3.16.c) nas equações (3.23) e (3.25) resulta em

$$\delta(\sigma) = \left\| \frac{[\Delta \underline{\lambda}_g]^T \Delta \underline{s}}{\sigma \mu} \right\| \quad (3.26)$$

Substituindo os valores de $\Delta \underline{s}$ e $\Delta \underline{\lambda}_g$ por aquelas obtidas na equação (3.21)

$$\delta(\sigma) = \left\| \frac{(\sigma \Delta \underline{\lambda}_g^c + (1-\sigma) \Delta \underline{\lambda}_g^{a-s})^T (\sigma \Delta \underline{s}^c + (1-\sigma) \Delta \underline{s}^{a-s})}{\sigma \mu} \right\| = \varepsilon \quad (3.27)$$

onde $\varepsilon > 0$ é o valor pré-especificado da distância ao caminho central na próxima iteração em unidades de μ .

O controle sobre o valor de ε modifica a proximidade da trajetória de busca ao caminho central. Em problemas de otimização com baixo grau de convexidade uma trajetória perto do caminho central é geralmente requerido. Isso implica num compromisso entre velocidade de convergência e robustez [21].

Para um valor pré-especificado de ε , a única variável de (3.27) é σ , a qual é obtida resolvendo uma equação quadrática. O valor de σ pode ser obtido pelo método da bisseção, do que resulta a maior raiz da equação (3.27) no intervalo $0 \leq \sigma \leq 1$. Em algumas circunstâncias não existem raízes reais no intervalo, o que é resolvido atribuindo um valor a σ de forma que $0 \leq \sigma \leq 1$ como no caso do algoritmo convencional.

Os passos para a solução de um problema de otimização através do algoritmo não linear de Pontos Interiores de Máximo Passo na Direção da Trajetória Central são resumidos a seguir.

ALGORITMO

Dados Inicialização: $\varepsilon > 0$, $(\underline{x}_0, \underline{\lambda}_{g0})$, $(\underline{s}_0, \underline{\lambda}_{g0}) > 0$.

DO:

1. Cálculo da direção afim-escala : resolva (3.16) para $\sigma = 0$; obtendo $(\Delta \underline{x}^{a-s}, \Delta \underline{s}^{a-s}, \Delta \underline{\lambda}_h^{a-s}, \Delta \underline{\lambda}_g^{a-s})$
2. Cálculo da direção de centralização : resolva (3.16) para $\sigma = 1$; obtendo $(\Delta \underline{x}^c, \Delta \underline{s}^c, \Delta \underline{\lambda}_h^c, \Delta \underline{\lambda}_g^c)$
3. Bisseção: encontre a maior raiz no intervalo $0 \leq \sigma \leq 1$ que satisfaça (3.24)
4. Combinação das direções: resolva (3.21)
5. Atualizar as variáveis: resolva (3.18) e (3.19)
6. Teste de convergência: Avalie as tolerâncias em $(\mu, \nabla_x L(\underline{x}, \underline{\lambda}_h, \underline{\lambda}_g), h(\underline{x}))$

END DO

3.9. Perdas

No texto a seguir, são descritas as abordagens utilizadas neste trabalho para a alocação das perdas de potência ativa nas linhas de transmissão nas transações.

I. Gross e Tao

Gross e Tao na referência [14] utilizam as simplificações feitas no fluxo de potência linearizado, propondo uma alocação das perdas para cada transação baseada em

fluxos fixos. Sob essas considerações, os autores demonstram que a função de perdas da rede pode ser aproximada por uma função quadrática das transações presentes no sistema, e que a sensibilidade da função de perdas com respeito à cada transação é uma função linear.

A formulação do método é mostrada a seguir para o caso de transações bilaterais. Suponha-se que a linha de transmissão entre os nós i e j é representada pela impedância de linha $R_{ij}+jX_{ij}=(G_{ij}+jB_{ij})^{-1}$, e que os elementos “shunt” são desprezados. Nessas condições é possível definir a perda de potência l_{ij} da linha que conecta os terminais i e j como

$$l_{ij} = \frac{R_{ij}}{R_{ij}^2 + X_{ij}^2} [V_i^2 + V_j^2 - 2V_i V_j \cos(\theta_i - \theta_j)] \quad (3.28)$$

Note que $l_{ij} = l_{ji}$. As perdas totais do sistema são

$$l = \frac{1}{2} \sum_{i=0}^N \sum_{j \in \xi} \frac{R_{ij}}{R_{ij}^2 + X_{ij}^2} [V_i^2 + V_j^2 - 2V_i V_j \cos(\theta_i - \theta_j)] \quad (3.29)$$

onde a divisão por 2 é introduzida para não duplicar as perdas em cada linha e o parâmetro ξ é definido como o conjunto de barras conectadas à barra i .

Assumindo as condições do Fluxo de potência CC, isto é,

1. os fluxos de potência reativa mantêm a magnitude de tensão nas barras em 1.00 p.u.:

$$V_n = 1.00 \quad n = 1, 2, \dots, N \quad (3.30)$$

2. as diferenças angulares entre as barras são suficientemente pequenas para poder aproximar o cosseno da seguinte forma:

$$\cos(\theta_{ij}) \cong 1 - \frac{\theta_{ij}^2}{2} \quad (3.31)$$

e aplicando-as à equação (3.28), as perdas totais podem ser representadas pela equação

$$\tilde{l} = \frac{1}{2} \sum_{i=0}^N \sum_{j \in \xi} \left\{ \frac{R_{ij}}{R_{ij}^2 + X_{ij}^2} (\theta_i - \theta_j)(\theta_i - \theta_j) \right\} \quad (3.32)$$

Os ângulos da tensão são representados por $\hat{\theta} = [\hat{\theta}_1, \hat{\theta}_2, \dots, \hat{\theta}_N]^T$, sendo os mesmos calculados pelo Fluxo de potência CC e a matriz \hat{B} é a submatriz $N \times N$ da matriz susceptância nodal de dimensão $(N+1) \times (N+1)$. Baseado nestas definições, pode-se escrever

$$\hat{\underline{B}} \hat{\underline{\theta}} = - \sum_{m=1}^M \delta^{(m)} t^{(m)} \quad (3.33)$$

onde $\delta^{(m)} t^{(m)}$ é o vetor que representa a injeção de potência da transação m . O coeficiente $\delta^{(m)}$ é definido como 1 se a barra é provedora, -1 se a barra é compradora e 0 se a barra não participa na transação. O escalar positivo $t^{(m)}$ representa o valor da transação em MW.

Definindo-se $\underline{D} = [\underline{d}_{ij}] = \hat{\underline{B}}^{-1}$, tem-se que

$$\hat{\underline{\theta}}_{-n} = \sum_{m=1}^M \sum_{k=1}^N d_{nk} \delta_k^{(m)} t^{(m)} \quad n = 1, 2, \dots, N \quad (3.34)$$

Como a barra $n=0$ é especificada como barra de folga, define-se $\theta_0 = 0$, rescrevendo

$$\hat{\underline{\theta}}_{-n} = \sum_{m=1}^M \xi_n^{(m)} t^{(m)} \quad n = 1, 2, \dots, N \quad (3.35)$$

onde, também para $n = 1, 2, \dots, N$,

$$\xi_n^{(m)} = \sum_{k=1}^N d_{nk} \delta_k^{(m)} = \sum_{k=1}^{N_a^{(m)}} d_{is_i^{(m)}} - \sum_{k=1}^{N_b^{(m)}} d_{jb_j^{(m)}} \quad (3.36)$$

Definindo para a barra de folga $\xi_0^{(m)} = 0 \quad m = 1, 2, \dots, M$ e $d_{n0}^{(m)} = 0 \quad n = 1, 2, \dots, N$, pode-se escrever

$$(\hat{\theta}_i - \hat{\theta}_j) = \sum_{m=1}^M \pi_{ij}^{(m)} t^{(m)} \quad i, j = 0, 1, 2, \dots, N; i \neq j \quad (3.37)$$

onde

$$\pi_{ij}^{(m)} = \xi_i^{(m)} - \xi_j^{(m)} \quad m = 1, 2, \dots, M; i, j = 0, 1, \dots, N \quad (3.38)$$

A aproximação das perdas do sistema, em termos das M transações em vigor, pode ser expressa através da equação

$$\begin{aligned}
\tilde{l} &= \frac{1}{2} \sum_{i=0}^N \sum_{j \in \xi} \left\{ \frac{R_{ij}}{R_{ij}^2 + X_{ij}^2} (\theta_i - \theta_j) (\hat{\theta}_i - \hat{\theta}_j) \right\} \\
&= \frac{1}{2} \sum_{i=0}^N \sum_{j \in \xi} \left\{ \frac{R_{ij}}{R_{ij}^2 + X_{ij}^2} (\theta_i - \theta_j) \sum_{m=1}^M \pi_{ij}^{(m)} t^{(m)} \right\} \\
&= \sum_{m=1}^M \left\{ \frac{1}{2} \sum_{i=0}^N \sum_{j \in \xi} \frac{R_{ij}}{R_{ij}^2 + X_{ij}^2} (\theta_i - \theta_j) \sum_{m=1}^M \pi_{ij}^{(m)} \right\} t^{(m)}
\end{aligned} \tag{3.39}$$

Definindo para $m = 1, 2, \dots, M$

$$\lambda^{(m)} = \frac{1}{2} \sum_{i=0}^N \sum_{j \in \xi} \frac{R_{ij}}{R_{ij}^2 + X_{ij}^2} (\theta_i - \theta_j) \pi_{ij}^{(m)} \tag{3.40}$$

As perdas totais do sistema \tilde{l} podem ser explicitamente expressas em função das transações em vigor no sistema como

$$\tilde{l} = \sum_{m=1}^M \lambda^{(m)} t^{(m)} \tag{3.41}$$

O coeficiente $\lambda^{(m)}$ pode ser aproximado como uma função linear de $\hat{\theta}$.

$$\lambda^{(m)} = \frac{1}{2} \sum_{i=0}^N \sum_{j \in \xi} \frac{R_{ij}}{R_{ij}^2 + X_{ij}^2} (\theta_i - \theta_j) \pi_{ij}^{(m)} = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^M \gamma_k^{(m)} t^{(k)} \tag{3.42}$$

onde

$$\gamma_k^{(m)} = \frac{1}{2} \sum_{i=0}^N \sum_{j \in \xi} \frac{R_{ij}}{R_{ij}^2 + X_{ij}^2} \pi_{ij}^{(m)} \pi_{ij}^{(k)} \tag{3.43}$$

As perdas totais do sistema, sob condições do Fluxo de Potência CC., podem ser aproximadas por uma função quadrática de $t^{(k)}, k = 1, 2, \dots, M$. Sob essas condições a sensibilidade das perdas do sistema com respeito à transação $t^{(m)}$ pode ser aproximada por uma função linear de todas as transações.

Definindo na equação (3.41)

$$\tilde{l}_a^{(m)} = \lambda^{(m)} t^{(m)}, \quad m = 1, 2, \dots, M \tag{3.44}$$

as perdas totais do sistema podem ser aproximadas pela equação

$$\tilde{l} = \sum_{m=1}^M \tilde{l}_a^{(m)} \tag{3.45}$$

O coeficiente $\tilde{l}_a^{(m)}$ pode ser interpretado como a contribuição de cada transação m ao total de perdas do sistema. Note-se que em alguns casos o coeficiente $\lambda^{(m)}$ pode ser negativo, o que é interpretado como uma alocação de perdas negativa, refletindo uma transação que tende a diminuir os fluxos nas linhas.

II. Sensibilidade

Considere-se no Fluxo de Potência via Newton-Raphson, a expansão em série de Taylor, da injeção de potência ativa na barra de folga P_f na direção $(\Delta V, \Delta \delta)$, no ponto (V, δ) , e até o termo de primeira ordem, expressa como

$$P_f(V + \Delta V, \delta + \Delta \delta) = P_f(V, \delta) + \left| \frac{\partial P_f}{\partial \delta} \right|_{(V, \delta)}^T \Delta \delta + \left| \frac{\partial P_f}{\partial V} \right|_{(V, \delta)}^T \Delta V \quad (3.46)$$

A relação de sensibilidade entre os incrementos na injeção de potência ativa na barra de folga e os ângulos e magnitudes das tensões nodais nas barras de geração do sistema de potência é dada por

$$\Delta P_f = \left| \frac{\partial P_f}{\partial \delta} \right|^T \quad \left| \frac{\partial P_f}{\partial V} \right|^T \quad \left| \begin{matrix} \Delta \delta \\ \Delta V \end{matrix} \right| \quad (3.47)$$

onde $\left| \frac{\partial P_f}{\partial \delta} \right|^T$ e $\left| \frac{\partial P_f}{\partial V} \right|^T$ são os vetores das derivadas da injeção de potência ativa da barra de folga com relação às variáveis do fluxo convencional δ e V . O incremento destas variáveis é dado por:

$$\left| \begin{matrix} \Delta \delta \\ \Delta V \end{matrix} \right| = \left| \begin{matrix} H & N \\ M & L \end{matrix} \right|^{-1} * \left| \begin{matrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{matrix} \right| = J_{FP}^{-1} * \left| \begin{matrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{matrix} \right| \quad (3.48)$$

Na ultima expressão, J_{FP}^{-1} é a inversa da matriz Jacobiana do Fluxo de Potência. Re-escrevendo a última equação em função do tipo de barra temos:

$$\begin{bmatrix} \Delta\delta_{PV} \\ \Delta\delta_{PQ} \\ \Delta V_{PQ} \end{bmatrix} = J_{FP}^{-1} * \begin{bmatrix} \Delta P_{PV} \\ \Delta P_{PQ} \\ \Delta Q_{PQ} \end{bmatrix} \quad (3.49)$$

Considerando que a potência reativa da carga é constante, a equação do incremento de potência ativa na barra de folga é expresso como

$$\Delta IB_{total} = \Delta P_f = \begin{bmatrix} \frac{\partial P_f}{\partial \delta} & \frac{\partial P_f}{\partial V} \end{bmatrix}^T * J_{FP}^{-1} * \begin{bmatrix} \Delta P_{PV} \\ \Delta P_{PQ} \\ 0 \end{bmatrix} \quad (3.50)$$

$$\Delta IB_{total} = \sum_i (S_{PV}^i * \Delta P_{PV}^i - S_{PQ}^i * \Delta P_{PQ}^i)$$

onde S_{PV} e S_{PQ} são vetores de ordem m cujos termos são as relações de sensibilidade entre os incrementos nas injeções da barra de folga e das barras PV e PQ , ΔIB_{total} é o desbalanço de potência provocado pelas variações nas injeções de potência.

Para o caso de barras de folga distribuídas, levando em consideração a formulação da referência [4], as variações de potência podem ser expressas como:

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta P_{ref} \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H & k_{PV+PQ} & N \\ \frac{\partial P_{ref}}{\partial \delta} & k_{ref} & \frac{\partial P_{ref}}{\partial V} \\ M & 0 & L \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} \Delta\delta \\ \Delta IB \\ \Delta V \end{bmatrix} \quad (3.51)$$

onde H , M , N , L são as submatrizes da matriz Jacobiana do fluxo de potência Newton-Raphson, $[k_{PV+PQ} \quad k_{ref}]$ é um vetor que representa a percentagem das perdas a ser assumida por cada barra. Esses coeficientes em geral são resultado do despacho econômico no caso do modelo “Pool”, ou de relações comerciais pré-estabelecidas no caso do modelo bilateral. A relação anterior pode ser expressa em função das variações de potência como

$$\begin{bmatrix} \Delta\delta \\ \Delta IB \\ \Delta V \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H & k_{PV+PQ} & N \\ \frac{\partial P_{ref}}{\partial \delta} & k_{ref} & \frac{\partial P_{ref}}{\partial V} \\ M & 0 & L \end{bmatrix}^{-1} * \begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta P_{ref} \\ \Delta Q \end{bmatrix} \quad (3.52)$$

Esta expressão indica que o desbalanço de potência pode ser expresso em termos da inversa da matriz Jacobiana. Essa relação de sensibilidade permite definir coeficientes de sensibilidade tais que:

$$\Delta IB = S_p * \Delta P_p \quad (3.53)$$

onde S_p representa o vetor de coeficientes de sensibilidade e ΔP_p a variação das potências nas barras de geração e carga. Observe-se que na presente relação de sensibilidade o esforço computacional é menor que no caso problema de simples barra de folga, já que só é necessário resolver um sistema linear para obter o vetor de relações de sensibilidade.

Para alocar perdas às transações em vigor no sistema considere-se o seguinte problema de otimização:

$$\begin{aligned} \text{Min} \quad & \alpha_1 \Delta IB_1^2 + \alpha_2 \Delta IB_2^2 - \Delta IB_{TOTAL} \\ \text{s.a.} \quad & \Delta IB_1 + \Delta IB_2 = \Delta IB_{TOTAL} \end{aligned} \quad (3.54)$$

onde ΔIB_1 e ΔIB_2 são os desbalanços de potência no sistema resultantes de duas transações, representando neste caso a totalidade da potência presente no sistema; os coeficientes α_1 e α_2 são definidos como segue.

$$\alpha_i = (S_{PV_i} * \Delta P_{PV_i}^i - S_{PQ_i} * \Delta P_{PQ_i}^i)^{-1} \quad (3.55)$$

onde $\Delta P_{PV_i}^i$ e $\Delta P_{PQ_i}^i$ são as potências gerada e consumida na transação i ; S_{PV_i} e S_{PQ_i} são os coeficientes de sensibilidade das barras PV e PQ presentes na transação.

Para encontrar o ponto ótimo do problema (3.54), a função Lagrangeana é formulada, isto é,

$$L(\Delta IB_1, \Delta IB_2, \lambda) = \alpha_1 \Delta IB_1^2 + \alpha_2 \Delta IB_2^2 + \lambda(\Delta IB_1 + \Delta IB_2 - \Delta IB_{TOTAL}) \quad (3.56)$$

Aplicando as condições de KKT, obtém-se

$$\frac{\partial L(\Delta IB_1, \Delta IB_2, \lambda)}{\partial \Delta IB_1} = 2\alpha_1 \Delta IB_1 + \lambda = 0 \quad (3.57)$$

$$\frac{\partial L(\Delta IB_1, \Delta IB_2, \lambda)}{\partial \Delta IB_2} = 2\alpha_2 \Delta IB_2 + \lambda = 0 \quad (3.58)$$

$$\frac{\partial L(\Delta IB_1, \Delta IB_2, \lambda)}{\partial \lambda} = (\Delta IB_1 + \Delta IB_2 - \Delta IB_{TOTAL}) = 0 \quad (3.59)$$

Igualando (3.57) e (3.58), obtém-se

$$2\alpha_1 \Delta IB_1 = 2\alpha_2 \Delta IB_2 \quad (3.60)$$

o que implica em

$$\Delta IB_1 = \frac{\alpha_2}{\alpha_1} \Delta IB_2 \quad (3.61)$$

e substituindo a equação (3.61) na equação (3.59)

$$\Delta IB_2 + \frac{\alpha_2}{\alpha_1} \Delta IB_2 = \Delta IB_{TOTAL} \quad (3.62)$$

$$\Delta IB_2 = \Delta IB_{TOTAL} / (1 + \frac{\alpha_2}{\alpha_1}) \quad (3.63)$$

Repetindo este procedimento para ΔIB_1 , obtém-se

$$\Delta IB_1 = \Delta IB_{TOTAL} / (1 + \frac{\alpha_1}{\alpha_2}) \quad (3.64)$$

Isto mostra que as perdas correspondentes às transações em vigor no sistema podem ser alocadas em forma proporcional aos coeficientes α .

III. Cuervo e Galiana

Cuervo e Galiana na referência [25] mostram que as perdas correspondentes a cada transação são dependentes do caminho utilizado e da ordem na qual as transações são implementadas.

Considere-se a demanda real na barra j é denotada por P_{dj} da qual uma parte, P_{dj}^p , é suprida pelo “Pool”, enquanto a componente restante, P_{dj}^b , é satisfeita por contratos bilaterais, o que resulta:

$$P_{dj} = P_{dj}^p + P_{dj}^b \quad (3.65)$$

Os componentes de carga resultantes da soma de contratos bilaterais com geradores que suprem as mesmas, o que implica:

$$P_{dj}^b = \sum_{i=1}^n GD_{ij} \quad (3.66)$$

onde GD_{ij} é formulada como na referência [25].

Da mesma forma, as injeções de potência dos geradores tem dois componentes: P_{gi}^p , que representa a componente correspondente ao “Pool”, e P_{gi}^b , que é a componente resultante dos contratos bilaterais estabelecidos pelo gerador.

$$P_{gi} = P_{gi}^p + P_{gi}^b \quad (3.67)$$

O problema de alocação de perdas consiste em determinar os níveis ótimos do “Pool”, de forma que se minimize os pagamentos do “Pool” aos provedores, o que é representado no problema

$$\text{Min} \sum_{i=1}^n C_i (P_{gi}^p + P_{gi}^b) \quad (3.68)$$

s.a.

$$(P_g^p + P_g^b) - (P_d^p + P_d^b) = P(\delta)$$

Alguns dos geradores terão a responsabilidade de suprir as perdas, o que implica em que

$$P_{dj}^b = \sum_{j=1}^n GD_{ij} + \sum_{r,s=1}^n L_{rsij} \quad (3.69)$$

onde L_{rsij} representa as perdas alocadas a uma transação bilateral GD_{rs} obtendo suas perdas da barra i . O último termo da equação (3.69) representa a soma de todos os componentes das alocações de perdas para os contratos bilaterais cujas perdas são supridas pelo gerador

i. Note-se que este procedimento não indica em que ordem de prioridade devem ser consideradas as componentes do “Pool” e do modelo bilateral. A ordem de prioridade mencionada deve ser pre-estabelecida para cada sistema de acordo à legislação vigente. O processo de alocação de perdas será desenvolvido para o modelo bilateral.

A consideração inicial a ser feita para a alocação de perdas é que uma variação infinitesimal numa transação bilateral produz um incremento infinitesimal nas barras afetadas pela transação: geração, carga e folga. Em geral, para um determinado conjunto de injeções infinitesimais de potência dP_j com i como a barra de folga, tem-se

$$dP_{loss} = \sum_{j=1} \left[\frac{\partial P_{loss}}{\partial P_j} \right]_i dP_j \quad (3.70)$$

onde a derivada parcial é denominada *coeficiente de perda incremental de transmissão* (PIT), com i sendo a barra de folga. Para um incremento num contrato particular entre as barras r e s , tem-se

$$dP_{loss} = dL_{rs_i} \quad (3.71)$$

$$dP_{loss} = \left[\frac{\partial P_{loss}}{\partial P_r} \right] dGD_{rs} + \left[\frac{\partial P_{loss}}{\partial P_s} \right] (-dGD_{rs}) \quad (3.72)$$

O método proposto por Cuervo e Galiana consiste em incrementar cada contrato gradualmente, em passos de dGD_{rs} , usando a equação (3.72) para estimar a os incrementos da alocação de perdas dL_{rs_i} , e utilizando a equação (3.70) para obter os novos níveis de geração bilateral incluídas as perdas. Resolvem-se então as equações da rede para os ângulos de fase, perdas e os coeficientes incrementais de perdas. Esse processo se repete até que os níveis finais de geração dos contratos bilaterais sejam alcançados. Como é analisado na referência [25], o processo de alocação das perdas é dependente do caminho de integração e os resultados finais são dependentes da ordem na qual os contratos são incrementados.

No capítulo 2, foi definido que o operador do sistema é o responsável pela compensação das perdas, de forma centralizada e em benefício comum de todos os integrantes do sistema. Na implementação feita neste trabalho, o fluxo de potência via Newton-Raphson a ser resolvido em cada intervalo de integração tem que levar em conta as percentagens de perda pré-determinados pelo ISO a serem compensados em cada barra de geração. Na resolução do FP, como a demanda permanece constante, as perdas induzem um desbalanço de potência IB que não pode ser calculado *a priori*. Isto motiva a

formulação do FP com barras de folga distribuídas. A percentagem do desbalanço é distribuída às unidades de geração responsáveis da compensação das perdas da seguinte forma:

$$P_i = P_{io} + k_i IB \quad (3.73)$$

onde, P_i é a potência ativa a ser gerada na barra, P_{io} é a potência pre-contratada original da barra, k_i é um vetor que representa a percentagem das perdas a ser assumida por cada barra;

$$k_i = [k_{PV+PQ} \quad k_{ref}] \quad (3.74)$$

onde k_{PV+PQ} é a percentagem das perdas a ser assumida pelos geradores não definidos como barra de folga, e k_{ref} é a percentagem das perdas assumidas pela barra de referência angular. Esses coeficientes em geral são resultado do despacho econômico no caso do modelo “Pool”, ou de relações comerciais pré-estabelecidas no caso do modelo bilateral. Na presente implementação esses coeficientes são o resultado da execução do FPO para minimizar as perdas.

As variações de potência podem ser expressas como:

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta P_{ref} \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H & k_{PV+PQ} & N \\ \frac{\partial P_{ref}}{\partial \delta} & k_{ref} & \frac{\partial P_{ref}}{\partial V} \\ M & 0 & L \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta IB \\ \Delta V \end{bmatrix} \quad (3.75)$$

onde H , M , N , L são as submatrizes da matriz Jacobiana do fluxo de potência Newton-Raphson, $[k_{PV+PQ} \quad k_{ref}]$ conforme definido anteriormente. Os elementos da coluna de k_i são os fatores de participação de cada gerador na compensação das perdas;

$$\frac{\partial P_i}{\partial IB} = k_i \quad (3.76)$$

Note-se que, em cada iteração são atualizados o módulo e ângulo da tensão e as injeções de potência ativa nas barras encarregadas da compensação das perdas. Os novos pontos de operação das unidades geradoras são calculados da seguinte forma:

$$P_i^{n+1} = P_i^n + k_i \Delta IB^n \quad (3.77)$$

Duas observações são interessantes. A primeira, é que não é especificado o número mínimo de intervalos de integração, e a segunda é que os métodos formulados sob o nome de sensibilidade correspondem à integração de um único intervalo deste método.

IV. Finney, Othman & Rutz

Finney, Othman e Rutz na referência [23] formulam uma relação de sensibilidade que permite a separação dos custos de perdas de potência ativa do valor associado ao congestionamento, nos multiplicadores de Lagrange.

Considere-se o seguinte problema de otimização, onde o despacho econômico com restrições é formulado:

$$\begin{aligned}
 & \min_{P_G, Q_G, V, \theta} C(P_G) \quad (\text{Custo de geração}) \\
 & \text{s. a.} \\
 & P_G - P_L + P(V, \theta) = 0 \\
 & Q_G - Q_L + Q(V, \theta) = 0 \\
 & L(V, \theta) \leq 0 \\
 & V_{\min} \leq V \leq V_{\max} \\
 & P_{G\min} \leq P \leq P_{G\max} \\
 & Q_{G\min} \leq Q \leq Q_{G\max}
 \end{aligned} \tag{3.78}$$

onde, os vetores P_G e Q_G denotam a geração de potência ativa e reativa, P_L e Q_L a carga ativa e reativa, e V e θ são a magnitude e o ângulo da tensão nas barras.

As restrições de fluxo nas linhas ($L(V, \theta) \leq 0$) podem tomar várias formas, tais como limites de corrente nas linhas, limites de potência aparente, etc. As restrições de fluxo nas linhas somadas aos limites de tensão formam as restrições de congestionamento, as quais quando ativas impedem o despacho de menor custo.

Reformulando o problema anterior como

$$\begin{aligned}
 & \min_{P_G, Q_G, V, \theta} C(P_G) \quad (\text{Custo de geração}) \\
 & \text{s. a.} \\
 & F(P_G, Q_G, V, \theta) = 0 \quad : \lambda \quad (\text{Balanço de potência}) \\
 & G(P_G, Q_G, V, \theta) \leq 0 \quad : \mu \quad (\text{Restr. de tensão e fluxo}) \\
 & H(P_G, Q_G) \leq 0 \quad : \pi \quad (\text{Restr. de geração})
 \end{aligned} \tag{3.79}$$

onde, as igualdades representam as equações de balanço de carga que devem ser satisfeitas, $H \leq 0$ representa o limites máximo e mínimo dos geradores para potência ativa e reativa,

enquanto que as desigualdades $G \leq 0$ representam os limites de fluxo nas linhas e tensão nas barras e eventualmente outras limitações como aquelas relativas à estabilidade em regime permanente.

Os vetores λ , μ e π são os multiplicadores de Lagrange associados às restrições de igualdade e desigualdade. Na solução ótima, λ é a relação entre a função de custo C e as equações das injeções de potência nas barras, isto é

$$\lambda = - \left. \frac{\partial C}{\partial F} \right|_* = \left[\left. \frac{\partial C^T}{\partial P_L} \quad \frac{\partial C^T}{\partial Q_L} \right]^T \right|_* \quad (3.80)$$

A ultima equação indica que o vetor λ contém o preço marginal ou *spot* de potência ativa e reativa adicional em cada barra do sistema. Similarmente, μ e π refletem os preços marginais em relação a mudanças nas restrições associadas. Os vetores λ , μ e π são disponíveis na saída do FPO. Para uma operação sob sistema “Pool”, é preciso decompor o preço *spot* em componentes para geração e perdas e componentes para congestionamento. Suponha-se que é selecionada uma barra como barra de folga, denotada com o sub-índice r . Então o problema anterior pode ser reformulado como

$$\begin{aligned} \min_{P_G, Q_G, V, \theta} \quad & C(P_G) \quad (\text{Custo de geração}) \\ \text{s. a} \quad & \\ f(P_{Gr}, Q_{Gr}, V_r, \theta_r) = 0 \quad & : \lambda_r \\ F(P_G, Q_G, V, \theta) = 0 \quad & : \lambda \\ G(P_G, Q_G, V, \theta) \leq 0 \quad & : \mu \\ H(P_G, Q_G) \leq 0 \quad & : \pi \end{aligned} \quad (3.81).$$

Nesta formulação as variáveis sem subscritos (P_G, Q_G, V, θ) não incluem as variáveis da barra de folga. O primeiro conjunto de equações $f = 0$ identifica explicitamente as equações de injeção de potência associadas com a barra de folga. Assumindo condições de regularidade (ver referência [29]), a solução deste problema consiste na solução de um problema de programação linear (PL). A solução do dual do PL fornece os multiplicadores de Lagrange do problema (3.76). As restrições de igualdade do problema dual, gerado pelas variáveis V e θ , tem como multiplicadores de Lagrange a V e θ , tal que é possível escrever

$$(\nabla_{\nu} f_r)^T \lambda_r + (\nabla_{\nu} F)^T \lambda + (\nabla_{\nu} G)^T \mu = 0 : V \quad (3.82)$$

$$(\nabla_{\theta} f_r)^T \lambda_r + (\nabla_{\theta} F)^T \lambda + (\nabla_{\theta} G)^T \mu = 0 : \theta$$

onde todos os gradientes são calculados na solução ótima.

Os multiplicadores λ são calculados resolvendo-se a equação

$$\lambda = \begin{bmatrix} (\nabla_{\nu} F)^T \\ (\nabla_{\theta} F)^T \end{bmatrix}^{-1} * \begin{bmatrix} (\nabla_{\nu} f_r)^T \\ (\nabla_{\theta} f_r)^T \end{bmatrix} * \lambda_r + \begin{bmatrix} (\nabla_{\nu} G)^T \\ (\nabla_{\theta} G)^T \end{bmatrix}^{-1} * \mu \quad (3.83)$$

onde a matriz a ser invertida é a matriz Jacobiana do Fluxo de Potência via Newton Raphson. Se a barra de referência r tem preço λ_r para as potências ativa e reativa, o qual inclui geração e perdas e não congestionamento, então é possível identificar os componentes de geração e perdas e componentes de congestionamento dos preços *spot* para todas as barras:

$$\lambda = \lambda_{GL} + \lambda_c \quad (3.84)$$

$$\lambda_{GL} = \begin{bmatrix} (\nabla_{\nu} F)^T \\ (\nabla_{\theta} F)^T \end{bmatrix}^{-1} * \begin{bmatrix} (\nabla_{\nu} f_r)^T \\ (\nabla_{\theta} f_r)^T \end{bmatrix} * \lambda_r \quad (3.85)$$

$$\lambda_c = \begin{bmatrix} (\nabla_{\nu} G)^T \\ (\nabla_{\theta} G)^T \end{bmatrix}^{-1} * \mu \quad (3.86)$$

Os componentes do preço para potência (ativa ou reativa) podem ser interpretados como o produto da sensibilidade das restrições de congestionamento pelo preço marginal da restrição. Quando as restrições de congestionamento não são ativas $\mu = 0$ e o preço *spot* da barra é estritamente devido a geração e perdas.

Como foi mencionado, é importante que o custo para potência ativa e reativa na barra de folga não tenha componentes de congestionamento, o que implica em que a seleção da barra de folga é essencial.

V. Multiplicadores de Lagrange

Conforme visto no caso anterior, o custo da transmissão unitário de uma dada transação é a diferença entre os custos marginais do comprador e o vendedor. O preço da transmissão considera o custo incremental em que o sistema suporte da transação incorreria em seus próprios geradores. Este valor visa recuperar a perda incremental na transmissão e, eventualmente, aqueles efeitos que advêm dos limites atingidos nas variáveis do sistema [13].

Se o preço marginal na barra do comprador é menor que o preço marginal na barra do vendedor, o Preço Marginal de Transmissão é negativo. Isto implica que a transação reduz os fluxos de potência na rede [5,6,13], diminuindo o risco de congestionamento do sistema.

3.10. Conclusões.

A inclusão das transações de energia na formulação no problema de Fluxo de Potência Ótimo (FPO) pode ser realizada modificando-se os limites de geração de potência ativa. Essa formulação requer modificações mínimas nos algoritmos de otimização, sendo portanto de fácil implementação.

Duas versões do algoritmo de pontos interiores Não-Linear; o Primal-Dual Convencional e o algoritmo de Máximo Passo na Direção do Caminho Central, podem ser utilizadas para resolver o problema de FPO, sendo esta última a versão conveniente para superar as dificuldades de convergência resultantes do estreitamento dos limites dos geradores.

Diferentes métodos são encontrados na literatura para a alocação de perdas às transações em vigor no sistema, podendo-se diferenciar três tipos: os baseados nos multiplicadores de Lagrange, baseados em relações de sensibilidade e o método linearizado. Os métodos baseados em relações de sensibilidade correspondem à primeira integração do método de Cuervo e Galiana. O método de Finney, Othman e Rutz utiliza também relações de sensibilidade para realizar a separação entre os valores associados às perdas e os associados ao congestionamento dentro dos multiplicadores de Lagrange.

Capítulo 4

Resultados Numéricos

4.1.Introdução

Os resultados numéricos da implementação são descritos em três etapas. Na primeira, são apresentados os resultados da inclusão das transações de energia no FPO, enfatizando-se a aplicação e a comparação com outras abordagens. Na segunda parte, são mostrados os resultados da aplicação do algoritmo de Máximo Passo na Direção do Caminho Central de Pontos Interiores ao FPO, com a modelagem da inclusão das transações. Neste aspecto, é feita ainda uma comparação do desempenho com respeito ao algoritmo Primal-Dual Convencional. Finalmente, são apresentados os resultados da alocação das perdas para os sistemas-teste IEEE de 14 e 30 barras (IEEE14 e IEEE30). São apresentados também os tempos de processamento para os casos dos sistemas IEEE de 30 e 118 barras (IEEE30 e IEEE118) e para um sistema realístico de 352 barras (SSB352). Detalhes da alocação de perdas nos sistemas de 118 e 352 barras são apresentados no Anexo I.

4.2. Variação dos Custos de Geração e Perdas no Sistema com as Transações.

Para ilustrar a aplicação da metodologia proposta para a inclusão das transações no problema do FPO, considere-se o sistema do IEEE 6 barras, cujos dados são mostrados no ANEXO B e o diagrama unifilar na figura 6:

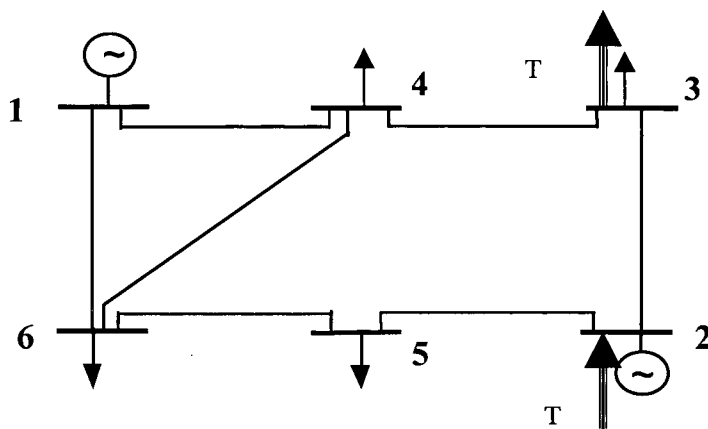


Figura 6 : Sistema IEEE de 6 Barras.

No presente caso, supõe-se em vigor uma transação firme entre as barras 2 e 3, de valor T , sendo na barra 2 a geração e na barra 3 a carga correspondente à transação pré-contratada. A demanda em cada barra do sistema é fixa, portanto o carregamento do sistema permanece constante. Na barra 3, a potência não atendida pela transação em vigor será comprada ao mercado “spot”. Nestas condições, minimiza-se o custo de geração do sistema, respeitando-se o valor da transação pré-contratada.

Nas Figura 7 (a) e (b) são representados o custo de geração e as perdas totais do sistema, para valores da transação pré-contratada T variando no intervalo entre 0 e 70 MW.

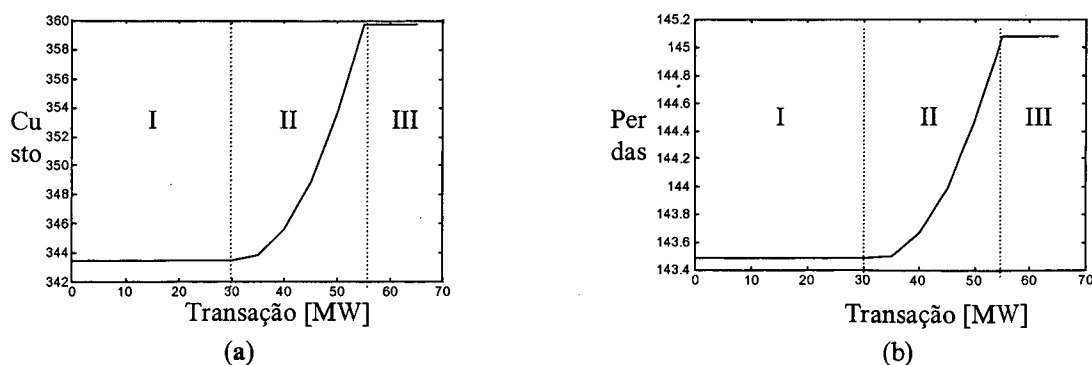


Figura 7: Variação do Custo de Geração e as Perdas com a Transação 2-3.

Nas Figura 7, com relação ao valor pré-contratado da transação, três regiões são distinguíveis. Na primeira (Região I) o valor mínimo a ser gerado para suprir a transação pela unidade 2 é inferior àquele correspondente ao despacho ótimo, indicando que a transação não influencia a solução de mínimo custo. Por conseguinte, o FPO convencional é capaz de determinar os valores ótimos de geração do sistema, pois os mesmos não são afetados pela transação. Na Região II, o valor contratado de transferência de potência entre as barras 2 e 3 é superior ao valor ótimo na barra de geração (determinado no despacho de mínimo custo convencional como 30 MW). Nesta região, a imposição do valor contratado de potência impede a operação do sistema na solução determinada pelo FPO para a Região I, incrementando os custos e as perdas do sistema. O ponto de operação neste caso é determinado minimizando-se os custos de geração dos intercâmbios de energia restantes, satisfazendo a transação pré-contratada. Quando a potência contratada é superior à demanda na barra 3 (Região III), o algoritmo indica valores constantes de custo de geração e perdas no sistema. A transição entre as Regiões II e III é devida ao valor da potência demandada na barra de carga ou aos limites de geração e/ou transmissão atingidos.

Desde que a demanda é fixa, as transações afetam exclusivamente o limite inferior de potência ativa gerada na barra. O valor total das perdas do sistema independe da barra destino da transação. Por exemplo, no caso de uma transação de 50 MW entre as barras 2 e 3, o valor do incremento nas perdas totais do sistema é similar àquele correspondente a uma transação de 50 MW entre as barras 2 e 6. O mesmo não acontece com a alocação das perdas entre as transações. Neste mesmo exemplo, utilizando-se para o cálculo das perdas os fatores de preços nodais, são atribuídas às transações quantidades distintas de perdas. A Tabela 1 mostra os Fatores de Preços Nodais (FPN) das barras para uma transação de 50 MW

Tabela 1 : Fatores de Preços Nodais para uma Transação de 50 MW.

Barra	FPN
1	2,7083
2	2,4122
3	2,9976
4	2,9674
5	2,9810
6	3,0156

Se esta transferência de potência fosse contratada entre as barras 2 e 3, o custo das perdas, calculado como a diferença entre os custos nodais das barras envolvidas na transação [13], correspondentes a esta transação seria de 29.27 unidades monetárias/hora. No entanto, se esta transação fosse entre as barras 2 e 6, o custo das perdas atribuídas a esta transação assumiria um valor de 30.17 unidades monetárias/hora, correspondente a uma percentagem maior das perdas totais no sistema.

4.3.Comparação com resultados da bibliografia

Galiana e Ilic [2,3] propõem minimizar os desvios em relação a uma matriz de transações pré-contratada, respeitando as restrições da rede. Nessa formulação, como anteriormente expresso, as transações constituem variáveis de otimização e é utilizado um Fluxo de Potência Ótimo CC. A função objetivo é representada na equação (4.1):

$$\min. \sum_i \sum_j b_{ij} |t_{ij} - t_{ij}^0| \quad (4.1)$$

onde, t_{ij} e t_{ij}^0 são os valores da transação efetiva e pré-contratada entre barras i e j , respetivamente e b_{ij} é o fator de peso da transação t_{ij} .

Se a matriz de transações é factível e segura [2,3], a solução do problema de otimização não deverá mostrar mudanças nos valores das transações pré-contratadas. Entretanto, se os valores pré-contratados ocasionam alguma violação nas restrições de operação, a solução deverá gerar um conjunto de transações factíveis e seguras próximas ao limite da região de convergência.

Visando comparar os resultados obtidos com a metodologia proposta com aqueles apresentados na referência [2], as seguintes considerações são feitas:

- Uma única classe de transações é considerada. Desde que na referência [2] somente um tipo de transação é incluído no problema de otimização, na presente abordagem apenas as Transações Firmes são levadas em conta.
- O limite mínimo de potência ativa gerada numa barra é calculado como a somatória das transações pré-contratadas na referida barra, sem considerar os fatores horários.
- A função objetivo utilizada é o Mínimo Desvio do Limite Inferior de Potência Ativa Gerada.

A função quadrática que representa o mínimo desvio do limite inferior de potência ativa gerada é obtida modificando-se os fatores da curva de custo de geração de potência ativa (equações (4.2) a (4.4)).

$$c_i=1 \quad (4.2)$$

$$b_i=-2*PI_i^{min} \quad (4.3)$$

$$a_i=(PI_i^{min})^2 \quad (4.4)$$

Na referência [2] é proposta uma matriz de transações não factível, o que requer a modificação dos contratos envolvendo as duas barras consideradas em cada transação. Os dados das barras e das linhas de transmissão do sistema de três barras utilizado como exemplo são mostrados no anexo B. A matriz de transações proposta em [2] é transcrita na Tabela 2. O diagrama unifilar do sistema é mostrado na figura 8.

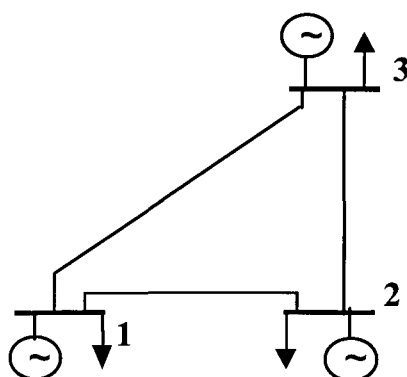


Figura 8: Sistema de 3 barras apresentado na referência [3].

Tabela 2 : matriz de transações proposta na referência [2].

	Matriz de transações			Geração [p.u.]	Geração [%Pg^{max}]	Fluxos nas linhas [% Pline^{max}]
Proposta	0,25	0,24	0,41	0,9	90	112
	0,12	0,02	0,09	0,23	15	201
	0,13	2,24	0,00	2,37	95	33
Otimizada	OK	OK	OK	<u>0,9</u>	90	67
	0,25	0,96	OK	<u>1,30</u>	87	100
	0,00	1,30	OK	<u>1,30</u>	52	0

As transações a serem modificadas são as que envolvem as barras 1 e 2, enquanto que as fixas são relativas ao gerador da barra 1 e à carga da barra 3. Para reproduzir essas modificações na metodologia proposta, o limite inferior das barras 1 e 2 são fixados em 0.9 e 0.09 respectivamente, valores de geração mínimo que representam as transações não modificadas da matriz proposta (aquelas que figuram OK na matriz otimizada). Isto assegura que as transações que não atingem os limites de transmissão não precisam ser modificadas. Os limites inferior e superior de tensão são fixados em 1 p.u.. Os resultados obtidos são mostrados na Tabela 3.

Tabela 3 : resultados utilizando a metodologia proposta.

Barra	Tensão		Geração		Carga	
	Mag(pu)	Ang(deg)	P (MW)	Q (MVAR)	P (MW)	Q (MVAR)
1	1,000	0,001	<u>0,90</u>	0,02	0,50	0,00
2	1,000	-4,585	<u>1,30</u>	0,05	2,50	0,00
3	1,000	0,000	<u>1,30</u>	0,03	0,50	0,00
Total:			3,50	0,10	3,50	0,00

Da comparação entre os valores que assume a geração nas Tabelas 2 e 3, verifica-se que a metodologia proposta apresenta os mesmos resultados que a referência [2] em relação às potências geradas. A forma de tratar as transações na presença de congestionamento é um tema que não faz parte dos objetivos do presente trabalho.

É interessante observar que os resultados obtidos com o FPO não-linear, considerando a tensão como variável, permitem um melhor aproveitamento da rede de transmissão, como pode ser constatado na Tabela 4 . Neste caso, os limites de tensão foram colocados em 0,9 e 1,1 pu, permitindo desta forma que os desvios nas transações pré-especificadas sejam menores do que no caso anterior.

Tabela 4 : resultados obtidos ao se modificarem os limites de tensão.

Barra	Tensão		Geração		Carga	
	Mag(pu)	Ang(deg)	P (MW)	Q (MVAR)	P (MW)	Q (MVAR)
1	0,981	-0,155	0,90	1,22	0,50	0,00
2	0,900	-5,661	1,28	-0,31	2,50	0,00
3	0,900	0,000	1,32	-0,69	0,50	0,00
Total:			3,50	0,22	3,50	0,00

4.4. Mínimo desvio de uma Matriz de Transações Proposta

Nesta seção, analisa-se o efeito de uma demanda efetiva inferior à estimada nas transações pré-contratadas. Os valores dessas transações são determinados em função de uma estimativa de carga que pode não se verificar efetivamente. Diferentes fatores podem afetar a carga num determinado instante, afastando-a dos valores estimados.

Conforme anteriormente exposto, o efeito da inclusão das transações pode ser representado pela elevação no valor mínimo de geração de potência ativa na barra. Ao se considerar o mínimo desvio da potência gerada pré-contratada, visa-se respeitar as transações existentes, calculadas em função das cargas estimadas. Os desvios não nulos expressam a impossibilidade de efetuar a transação num regime factível e seguro com os valores pré-contratados.

A Tabela 5 mostra as transações propostas para o sistema teste IEEE 6 barras.

Na Tabela 6 pode-se observar que os consumos nas cargas são inferiores aos valores pré-contratados. As considerações feitas no item anterior permanecem em vigor ainda neste caso.

Tabela 5 : Transações propostas para o sistema IEEE 6 barras.

<i>Transação</i>	<i>Barra Origem</i>	<i>Barra Final</i>	<i>Valor Pré-contratado [MW]</i>	<i>Tipo de Transação</i>
1	1	3	170	1
2	1	6	80	1
3	2	5	80	1

Tabela 6 : Valores de Carga e Pré-contratados nas Barras de Carga.

<i>Barra</i>	<i>Valores Pré-contratados [MW]</i>	<i>Carga [MW]</i>
3	170	55
4	0	0
5	80	30
6	80	50

Tabela 7 : Limites Máximos de Geração

Barra	Geração Máxima [MW]
1	300
2	80

A Tabela 8 apresenta a potência gerada em cada barra. Observa-se que a solução encontrada minimizando-se os desvios, impondo assim que a geração se mantenha o mais próximo possível dos valores pré-contratados, pertence à fronteira da região factível (na barra 2 o limite máximo de potência ativa gerada é atingido, ver Tabela 7). A solução obtida através da metodologia proposta, ao levar em conta o valor efetivo de carga, coincide com a solução ótima do caso sem transações. Os limites de geração de potência ativa não são atingidos, tal que o sistema opera com custo de geração mínimo, como pode ser verificado na Tabela 7.

Tabela 8 : Potências Fornecidas pelas Barras de Geração.

Gerador	Sem transações	Método do Mínimo Desvio	Metodologia Proposta
1	111,862	70,685	111,868
2	31,620	79,999	31,614

Tabela 9 : Custos de Operação do Sistema.

	Sem Transações.	Método do Mínimo Desvio	Metodologia Proposta
Custo Total	343,480	412,101	343,480
Perdas	143,482	150,683	143,482

Na Tabela 9, verifica-se que, sob o ponto de vista econômico, a solução de mínimo desvio das transações pré-especificadas é 20% mais dispendiosa do que aquela obtida com a metodologia proposta.

4.5. Efeito da Redução dos Intervalos de Potência Ativa Gerada.

A metodologia utilizada para modelar as transações requer uma diminuição efetiva dos intervalos de variação da potência ativa gerada. O algoritmo utilizado para a solução do FPO deve ser robusto no tratamento de intervalos de variação estreitos.

O método de Pontos Interiores utiliza a informação contida nas segundas derivadas das funções envolvidas no problema de FPO para a determinação de uma trajetória central até a convergência [21].

A Tabela 10 mostra, para o método convencional de Pontos Interiores, o número de iterações até a convergência para os sistemas utilizados nos testes, para os casos a) desconsiderando as transações e b) com 100% da potência ativa demandada do sistema pré-contratada. Para avaliar o desempenho da metodologia proposta foram utilizados os sistemas IEEE30, IEEE57, IEEE118 e dois equivalentes do sistema Sul-Sudeste brasileiro (SSB352 e SSB750). Verifica-se que em geral o número de Iterações é ligeiramente incrementado.

Tabela 10 : Número de Iterações até a Convergência
Sem Transações e com 100% da Potência Pré-Contratada.

Caso Considerado	Sistema				
	IEEE30	IEEE57	IEEE118	SSB352	SSB750
Sem transações	9	10	14	14	24
100% Potência Pré-contratada	10	10	14	15	24

Dependendo da condição de operação do sistema, a redefinição dos limites mínimos de potência ativa gerada (requeridos nesta forma de inclusão das transações no FPO) pode modificar consideravelmente em alguns casos o número de iterações até a convergência. A redução na faixa dos limites pode elevar substancialmente o número de iterações para convergência no método primal-dual convencional de Pontos Interiores. Por exemplo, no sistema SSB de 352 barras a alteração na especificação das transações modifica o número de iterações para a convergência, conforme se observa na Tabela 11. Nos três casos mostrados, os diferentes conjuntos de transações especificadas requerem a modificação do limite inferior de potência ativa gerada na barra 277. Observa-se que a diminuição do intervalo definido pelos limites de geração resulta num aumento do número de iterações do método convencional de forma mais acentuada que no caso do algoritmo do máximo passo na direção do caminho central. Neste caso, a aplicação deste último

algoritmo é mais adequada. Na seção seguinte, são mostrados resultados adicionais que ilustram o desempenho do Algoritmo de Máximo Passo na Direção do Caminho Central.

Tabela 11 : Dependência do número de iterações até a convergência em relação à distribuição das transações para o sistema SSB de 352 barras.

Parâmetro de Variação	Valor da transação		Limite Máximo do gerador [MW]	Nº de Iterações até a convergência	
	Pré-contratada [MW]	Real [MW]		Convencional	Máximo Passo
Sem transações	0	0	500	14	12
Geração Barra 277	280	246.9	500	19	16
Geração Barra 277	380	346.9	500	19	17
Geração Barra 277	480	446.9	500	25	17

4.6. Desempenho do Algoritmo do Máximo Passo na Direção do Caminho Central

Para testar o desempenho do algoritmo de máximo passo, foram utilizados os sistemas de 6 e 118 barras (IEEE6 e IEEE118) e o Sistema Sul-Sudeste Brasileiro de 352 barras (SSB 352). A Tabela 12 mostra o número de linhas de transmissão e de unidades geradoras dos sistemas mencionados.

Tabela 12 : Características dos Sistemas

	IEEE 6	IEEE 118	SSB 352
Geradores	2	179	385
Linhas	7	34	30

Nos testes efetuados foram considerados os conjuntos de transações apresentados no ANEXO B, os quais resultaram nas modificações dos limites inferiores de potência ativa gerada mostradas na Tabela 13 (IEEE6), 14 (IEEE118) e 15 (SSB352).

Tabela 13 : Limites de potência ativa gerada (IEEE6).

Barra	Tipo	Potência Ativa Mínima [MW]		Potência Máxima [MW]
		Fixada pelas transações	Original	
1	1	80	0	300
2	1	55	0	80

Tabela 14 : Limites de potência ativa gerada (IEEE 118).

Barra	Tipo	Potência Ativa Mínima [MW]		Potência Máxima [MW]
		Fixada pelas transações	Original	
4	1	192	0	200
8	1	296	0	300
10	1	490	0	500
12	1	99	0	100
24	1	97	0	100
25	1	229	0	300
26	1	382	0	400
27	1	148	0	150
31	1	82	0	100
40	1	91	0	100
42	1	97	0	100
46	1	145	0	150
49	1	221	0	250
54	1	0	0	150
59	1	0	0	200
61	1	114	0	200
65	1	252	0	450
66	1	356	0	450
69	2	324	0	450
72	1	0	0	40
73	1	0	0	100
80	1	497	0	550
87	1	0	0	150
89	1	0	0	700
90	1	0	0	100
91	1	0	0	100
99	1	0	0	150
100	1	0	0	350
103	1	0	0	150
107	1	0	0	150
111	1	0	0	150
112	1	0	0	100
113	1	0	0	100
116	1	0	0	150

Tabela 15 : Limites de potência ativa gerada (SSB352).

Barra	Tipo	Potência Ativa Mínima [MW]		Potência Máxima [MW]
		Fixada pelas transações	Original	
91	1	110,0	0	500
165	1	29,7	0	500
226	1	47,6	0	500
257	1	133,7	0	500
261	1	186,1	0	500
262	1	128,5	0	500
269	1	38,6	0	500
270	1	49,0	0	500
271	1	102,9	0	500
272	1	127,1	0	500
274	1	89,7	0	500
275	1	120,5	0	500
276	1	209,0	0	500
277	1	246,9	0	500
296	1	34,0	0	500
304	1	134,3	0	500
305	1	50,9	0	500
307	1	97,5	0	500
309	1	174,5	0	500
311	1	92,9	0	500
312	1	50,1	0	500
313	1	31,4	0	500
314	1	155,4	0	500
315	1	182,4	0	500
317	1	137,9	0	500
318	1	80,8	0	500
320	1	35,9	0	500
323	2	199,6	0	500
342	1	61,0	0	500
343	1	17,3	0	500

Visando observar o desempenho dos algoritmos de otimização com relação ao número de iterações para a convergência, testes adicionais foram realizados. A carga reativa de cada barra foi alterada até se atingir uma condição na qual o método iterativo não alcançasse a convergência. Desta forma, uma seqüência de soluções foi obtida através de cada algoritmo de otimização. As Tabelas 16, 17 e 18 mostram o número de iterações para a convergência (sistema IEEE6, IEEE118 e SSB352, respectivamente) requerido por cada algoritmo e para cada condição de carga.

Com relação aos parâmetros que representam a distância primal-dual (σ) e a distância ao caminho central (ε) referidos no capítulo 3, adotou-se para o algoritmo de

pontos interiores convencional $\sigma = 0.1$ e para o algoritmo do máximo passo na direção do caminho central $\varepsilon = 3.0$.

Tabela 16 : Número de Iterações até a convergência para o sistema IEEE 6

Fator de "Stress" da Potência Reativa	Iterações até a convergência	
	Convencional	Máximo Passo
1	8	7
1,1	8	5
1,2	não converge	não converge

Tabela 17 : Número de Iterações até a convergência para o sistema IEEE 118

Fator de "Stress" da Potência Reativa	Iterações até a convergência	
	Convencional	Máximo Passo
1,00	16	17
1,10	17	17
1,20	16	16
1,30	16	16
1,40	16	16
1,50	16	16
1,60	16	16
1,70	16	16
1,80	27	20
1,85	22	19
1,86	não converge	não converge

Tabela 18 : Número de Iterações até a convergência para o sistema IEEE 352

Fator de "Stress" da Potência Reativa	Iterações até a convergência	
	Convencional	Máximo Passo
1,00	23	17
1,20	24	17
1,40	24	19
1,60	19	19
1,80	22	21
2,00	21	20
2,20	21	19
2,40	21	21
2,60	22	21
2,80	19	21
3,00	19	20
3,20	20	19
3,40	20	19
3,60	18	18

Tabela 18 : Número de Iterações até a convergência para o sistema IEEE 352 (Continuação)

Fator de “Stress” da Potência Reativa	Iterações até a convergência	
	Convencional	Máximo Passo
3,80	18	17
4,00	16	16
4,20	17	16
4,40	17	16
4,50	não converge	não converge

Nas Tabelas 16, 17 e 18, observa-se que nem sempre o algoritmo de máximo passo tem um desempenho melhor em termos do número de iterações para a convergência. Entretanto, este número de iterações se mantém mais estável ao longo dos diferentes níveis de carga reativa aplicados.

4.7. Alocação das perdas de potência ativa na transmissão

A presente seção visa comparar, em termos da qualidade dos resultados, a alocação de perdas estabelecida pelos métodos implementados neste trabalho com aquela apresentada em [31], obtida através da metodologia aplicada pelo Mercado Atacadista de Energia (MAE).

A formulação utilizada pelo MAE é baseada na divisão proporcional das perdas entre as barras, tomando como base a variação no valor total das perdas resultante do aumento marginal da injeção de potência em cada barra. Para isso, a solução de um fluxo de potência AC é obtida, a qual fornece o valor da perda de potência ativa em cada linha. Este valor é alocado como carga nas barras interligadas pela linha de transmissão, sob a suposição de que a cada barra corresponde a metade da perda da linha. Posteriormente a sensibilidade da perda com relação à injeção marginal de cada barra é calculada, e corrigida para dividir a perda entre o gerador e a carga.

Para ilustrar o efeito das transações sobre a alocação das perdas, dois conjuntos de transações são utilizados no sistema teste IEEE14 (dados apresentados no Anexo B). Os valores de transações pré-contratados são determinados visando satisfazer a distribuição de potência apresentada no exemplo da referência [31]. Na Tabela 19 é efetuada uma distribuição de transações, de maneira que apenas a barra 3 compra potência da barra 2. Na Tabela 20, a potência gerada na barra 2 é distribuída de maneira uniforme entre todas as

barras de carga. Nos casos apresentados nesta tabela, as perdas são alocadas nas barras de carga, de maneira a possibilitar a comparação com os resultados do exemplo citado.

Nas Tabelas 21 e 22 são apresentados os resultados obtidos através das diferentes metodologias. Nas colunas 2 e 3 são mostrados a magnitude e o ângulo da tensão em cada barra, os quais são invariantes para os diferentes conjuntos de transações considerados. As colunas 4 a 8 apresentam os resultados obtidos via metodologias do MAE, Sensibilidade, Finney, Othman e Rutz ; Gross e Tao ; e Cuervo e Galiana.

Observa-se que, ainda que os dois conjuntos de transações sejam muito diferentes, o valor total das perdas alocadas pelos diferentes métodos não tem variação significativa. A razão disto é que os limites mínimos de geração de potência ativa e a demanda de potência em cada barra permanecem constantes em ambos os casos.

Apenas os valores de perda alocados via metodologias MAE, Sensibilidade, Gross e Tao e Cuervo e Galiana podem ser comparados. Em todos estes casos os valores de perda alocados a cada barra variam, indicando que os mesmos são dependentes do conjunto de transações implementado. A análise dos fatores de alocação (colunas 4, 5, 7 e 8) revela que, em virtude do critério de proporcionalidade utilizado, em geral a metodologia utilizada pelo MAE penaliza mais acentuadamente a barra com maior valor de demanda.

Tabela 19 : Valores pré-contratados e reais das transações

Barras		Valor contratado [MW]	Valor real [MW]	Tipo de Transação
Vendedor	Comprador			
1	3	99,00	75,88	2
2	3	18,32	18,32	1
1	4	48,80	47,80	1
1	5	10,00	7,60	1
1	6	20,00	11,20	1
1	9	30,00	29,50	1
1	10	10,00	9,00	1
1	11	5,00	3,50	1
1	12	7,00	6,10	1
1	13	20,00	13,50	1
1	14	20,00	14,90	1

Tabela 20 : Valores pré-contratados e reais das transações

Barras		Valor contratado [MW]	Valor real [MW]	Tipo de Transação
Vendedor	Comprador			
1	3	99,0	86,9	2
1	4	48,8	44,1	2
1	5	10,0	7,0	3
1	6	20,0	10,3	2
1	9	30,0	27,2	2
1	10	10,0	8,3	2
1	11	5,0	3,2	2
1	12	7,0	5,6	2
1	13	20,0	12,5	2
1	14	20,0	13,7	2
2	3	7,3	7,3	1
2	4	3,7	3,7	1
2	5	0,6	0,6	1
2	6	0,9	0,9	1
2	9	2,3	2,3	1
2	10	0,7	0,7	1
2	11	0,3	0,3	1
2	12	0,5	0,5	1
2	13	1,0	1,0	1
2	14	1,2	1,2	1

Tabela 21 : Valores da alocação de Perdas para as transações apresentadas na Tabela 19

Barra	Tensão [pu]	Ângulo [graus]	MAE [MW]	Sensibilida de [MW]	Finney Othman e Rutz [\$ /h]	Gross e Tao [MW]	Cuervo e Galiana (100 interv.) [MW]
1	1,0600	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	1,0450	-4,95	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	1,0100	-12,62	6,50	5,6643	0,446772	5,17360	5,2803
4	1,0290	-10,42	2,24	2,5745	0,182299	2,35170	2,5181
5	1,0341	-8,95	0,24	0,3455	0,023768	0,31660	0,3405
6	1,0700	-14,67	0,36	0,5202	0,036058	0,47530	0,5172
7	1,0557	-13,55	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8	1,0900	-13,55	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
9	1,0495	-15,17	1,36	1,5846	0,112055	1,43290	1,5312
10	1,0457	-15,36	0,44	0,5009	0,035535	0,45100	0,4868
11	1,0542	-15,14	0,16	0,1851	0,013029	0,16710	0,1816
12	1,0547	-15,51	0,30	0,3383	0,023881	0,30510	0,3364
13	1,0495	-15,57	0,72	0,7861	0,055822	0,69510	0,7796
14	1,0314	-16,35	1,04	1,008	0,072588	0,87400	0,9877
Total			13,36	13,5075		12,2424	12,9594

Tabela 22 : Valores da alocação de Perdas para as transações apresentadas na Tabela 20

Barra	Tensão [pu]	Ângulo [graus]	MAE [MW]	Sensibilidade de [MW]	Finney Othman e Rutz [\$ /h]	Gross e Tao [MW]	Cuervo e Galiana (100 interv.) [MW]
1	1,0600	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	1,0450	-4,95	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	1,0100	-12,62	6,50	5,9507	0,446322	5,44020	5,5551
4	1,0290	-10,42	2,24	2,4766	0,182119	2,26070	2,4239
5	1,0341	-8,95	0,24	0,3297	0,023726	0,30190	0,3252
6	1,0700	-14,67	0,36	0,4964	0,035947	0,45320	0,4943
7	1,0557	-13,55	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8	1,0900	-13,55	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
9	1,0495	-15,17	1,36	1,5238	0,111918	1,37640	1,4727
10	1,0457	-15,36	0,44	0,4824	0,035486	0,43380	0,4689
11	1,0542	-15,14	0,16	0,1771	0,012960	0,15970	0,1740
12	1,0547	-15,51	0,30	0,325	0,023803	0,29280	0,3237
13	1,0495	-15,57	0,72	0,7596	0,055852	0,67050	0,7542
14	1,0314	-16,35	1,04	0,9762	0,072435	0,84460	0,9572
Total			13,36	13,497602		12,23380	12,9492

4.8.Resultados da alocação de perdas para o sistema IEEE de 30 barras

Neste caso, é suposto que o sistema opera segundo o modelo bilateral e as diferentes transações compram as perdas do mercado “*spot*”. A perda de potência ativa no sistema de transmissão deve ser alocada entre as diferentes transações presentes na rede. Para atingir esse objetivo foi utilizado um programa de Fluxo de Potência Ótimo, no qual foram liberadas as restrições de fluxo nas linhas de transmissão, sendo consideradas apenas as restrições de magnitude de tensão nas barras e limites de capacidade dos geradores. As transações foram modeladas como mostrado no Capítulo 3, considerando que cada barra estabelece diferentes transações para suprir sua carga. O índice de desempenho otimizado foi o Custo de Geração de Potência Ativa. Entretanto, desde que as transações são pré-especificadas para suprir a demanda total, a minimização desta função objetivo implica na minimização do custo das perdas de potência ativa no sistema de transmissão. As transações consideradas neste caso são apresentadas nas figuras do Anexo I. Para facilitar a comparação entre os diferentes métodos, os resultados são apresentados por barra de carga. A coluna 2 da Tabela 23 mostra o custo de transmissão atribuído à barra através do método proposto em [13]. Observe-se que esta metodologia também inclui na alocação realizada o efeito do congestionamento pelos limites de tensão atingidos nas barras 1 e 11. Nas

colunas 3 a 7 são mostrados os resultados correspondentes aos métodos de Finney, Othman e Rutz; Sensibilidade com barras de folga múltiplas; Sensibilidade com barra de folga simples; Gross e Tao; e Cuervo e Galiana. A modificação na alocação de perdas resultante da solução do FPO correspondente à minimização do custo das perdas de transmissão, pode ser visualizada nas diferenças existentes entre os métodos de Sensibilidade; e Finney, Othman e Rutz em relação ao método de Gross e Tao. Neste último método, as aproximações consideradas são as mesmas do fluxo de potência CC. A estratégia proposta por Cuervo e Galiana, é aplicada na saída do FPO. No caso analisado, devido à falta de melhores informações, o número de intervalos tomados para se efetuar a integração foi 100. Nos testes realizados com os sistemas IEEE de 14, 30 e 118 barras e com o sistema SSB de 352 barras, o erro na somatória das perdas foi inferior a 4%. A especificação do número de intervalos de integração implica num compromisso entre a precisão dos resultados e a utilização de recursos computacionais.

Tabela 23 : Resultados dos diferentes métodos para o sistema IEEE de 30 barras

Barra #	Custo de transmissão via Multiplicadores [\$/h]	Finney Othman e Rutz [\$/h]	Sensibilidade		Gross e Tao [pu]	Cuervo e Galiana (100 interv.) [pu]
			Múltiplas barras de folga [pu]	Simples barra [pu]		
1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	0,02462	0,024073	0,004809	0,004503	0,005005	0,004391
3	0,00335	0,003218	0,000658	0,000602	0,000675	0,000605
4	0,00495	0,004854	0,000936	0,000908	0,000936	0,000906
5	0,26596	0,262401	0,048878	0,04909	0,052467	0,046887
6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7	0,04126	0,041188	0,007707	0,007705	0,008072	0,007445
8	0,06708	0,065555	0,0126	0,012264	0,01322	0,011751
9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10	0,00327	0,003448	0,000604	0,000645	0,000559	0,00059
11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
12	0,01572	0,015413	0,003074	0,002883	0,003192	0,002844
13	0,00	0,000	0,00	0,00	0,00	0,00
14	0,00596	0,006088	0,001134	0,001139	0,001131	0,001123
15	-0,00438	-0,00407	-0,00066	-0,00076	-0,00102	-0,00065
16	-0,00064	-0,0005	-8,5E-05	-9,4E-05	-0,00014	-6,9E-05
17	0,00088	0,001063	0,000185	0,000199	0,000119	0,000191
18	0,00322	0,003396	0,000587	0,000635	0,000507	0,000605
19	0,02623	0,026398	0,004946	0,004938	0,004834	0,004788
20	0,00332	0,003401	0,000613	0,000636	0,000576	0,000613
21	0,0366	0,036759	0,006993	0,006877	0,006877	0,00666
22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
23	0,00138	0,001496	0,000255	0,00028	0,000178	0,000277

Tabela 23: Resultados dos diferentes métodos para o sistema IEEE de 30 barras
(Continuação)

Barra #	Custo de transmissão via Multiplicadores [\$/h]	Finney Othman e Rutz [\$/h]	Sensibilidade		Gross e Tao [pu]	Cuervo e Galiana (100 interv.) [pu]
			Múltiplas barras de folga [pu]	Simples barra [pu]		
24	0,01015	0,010613	0,001824	0,001985	0,00156	0,001878
25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
26	0,00739	0,007547	0,001323	0,001412	0,001159	0,001352
27	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
29	0,00251	0,002629	0,000437	0,000492	0,00034	0,000464
30	0,02231	0,023119	0,003844	0,004325	0,003223	0,004061
Totais			0,100662	0,100663	0,103473	0,096708

Tabela 24 : Valores do Sistema IEEE de 30 barras.

Barra #	Pg [pu]	Qg [pu]	Pd [pu]	Qd [pu]	Tensão [pu]	Ângulo [graus]	% das perdas assumidas pela barra
1	1,98E+00	-1,71E-01	0,00E+00	0,00E+00	1,1	0	0%
2	2,57E-01	2,92E-01	2,17E-01	1,27E-01	1,08578	-3,919	62%
3	----	----	2,40E-02	1,20E-02	1,07594	-5,375	0%
4	----	----	7,60E-02	1,60E-02	1,06975	-6,455	0%
5	1,46E-01	2,98E-01	9,42E-01	1,90E-01	1,05903	-10,388	38%
6	----	----	0,00E+00	0,00E+00	1,06519	-7,634	0%
7	----	----	2,28E-01	1,09E-01	1,05542	-9,244	0%
8	1,25E-01	4,19E-01	3,00E-01	3,00E-01	1,06865	-8,116	0%
9	----	----	0,00E+00	0,00E+00	1,06245	-9,063	0%
10	----	----	5,80E-02	2,00E-02	1,04193	-10,668	0%
11	1,46E-01	2,00E-01	0,00E+00	0,00E+00	1,1	-7,574	0%
12	----	----	1,12E-01	7,50E-02	1,06626	-9,358	0%
13	2,83E-01	2,41E-01	0,00E+00	0,00E+00	1,09641	-7,416	0%
14	----	----	6,20E-02	1,60E-02	1,04993	-10,324	0%
15	----	----	8,20E-02	2,50E-02	1,04318	-10,467	0%
16	----	----	3,50E-02	1,80E-02	1,04859	-10,169	0%
17	----	----	9,00E-02	5,80E-02	1,03854	-10,722	0%
18	----	----	3,20E-02	9,00E-03	1,03058	-11,228	0%
19	----	----	9,50E-02	3,40E-02	1,02626	-11,491	0%
20	----	----	2,20E-02	7,00E-03	1,02938	-11,342	0%
21	----	----	1,75E-01	1,12E-01	1,02942	-11,102	0%
22	----	----	0,00E+00	0,00E+00	1,02993	-11,084	0%
23	----	----	3,20E-02	1,60E-02	1,02878	-11,012	0%
24	----	----	8,70E-02	6,70E-02	1,01804	-11,405	0%
25	----	----	0,00E+00	0,00E+00	1,02112	-11,607	0%
26	----	----	3,50E-02	2,30E-02	1,00351	-12,024	0%
27	----	----	0,00E+00	0,00E+00	1,03175	-11,465	0%
28	----	----	0,00E+00	0,00E+00	1,06025	-8,058	0%
29	----	----	2,40E-02	9,00E-03	1,0121	-12,675	0%
30	----	----	1,06E-01	1,90E-02	1,00073	-13,542	0%

4.9. Tempos de Processamento para as implementações dos métodos de alocação de perdas

A Tabela 25 apresenta os tempos de processamento relativos à alocação de perdas para os sistemas IEEE de 30 e 118 barras e SSB de 352 barras. Os testes foram realizados num computador Pentium MMX 233 MHz, com 32 MB de RAM. Na tabela mencionada são mostrados os tempos correspondentes aos módulos dos algoritmos, o que possibilita estabelecer uma comparação entre os esforços computacionais requeridos pelos diferentes métodos de alocação. A coluna *Módulo* corresponde exclusivamente ao algoritmo de alocação, a coluna *Total processo* corresponde ao tempo necessário para executar a totalidade dos módulos componentes do processo. O método de Gross e Tao não necessita da execução do FPO ou do fluxo de potência convencional para estabelecer a alocação das perdas, e por esta razão requer o menor tempo total de cpu. No outro extremo, o método de Cuervo e Galiana tem o tempo total de cpu maior, devido à necessidade da integração em um número de intervalos geralmente elevado após a execução do FPO. Observe-se que em cada intervalo a solução do fluxo de potência via Newton-Raphson deve ser obtida. O Fluxo de Potência Ótimo para o qual foram computados os tempos de processamento foi aquele baseado no método de pontos interiores convencional. A implementação dos algoritmos foi feita em Fortran 77 em uma plataforma MS Power Station 4.0. Foram utilizadas as Subrotinas DLSLRG para a resolução de sistemas lineares e DLINRG para a inversão de matrizes, as quais pertencem a biblioteca IMSL Math Library, da plataforma mencionada.

Tabela 25 : Tempos de Processamento para diferentes Sistemas [segundos].

	IEEE 30 barras		IEEE 118 barras		SSB 352 barras	
	Módulo	Total Processo	Módulo	Total Processo	Módulo	Total Processo
Módulo de Transações	0,05		0,065		1,75	
Gross e Tao	0,05	0,1	1,72	1,785	19,2	20,95
Fluxo de Potência Ótimo	1,42		9,06		16,4	
Sensibilidade Múltiplas Barras de Folga	0,11	1,58	0,5	9,625	11,8	29,95
Sensibilidade Simples barras de folga	0,11	1,58	0,99	10,115	33,5	51,65
Finney Othman e Rutz [\$]	0,06	1,53	0,83	9,955	23,3	41,45
Cuervo e Galiana (100 int.)	3,73	5,15	134,2	143,26	3149,8	3166,2

Nº de Transações implementadas	25	152	217
---	----	-----	-----

Na Tabela 25 observa-se que o esforço computacional requerido pela abordagem baseada na Sensibilidade com múltiplas barras de folga é nitidamente menor do que aquele correspondente ao método baseado na Sensibilidade com uma simples barra de folga. O motivo dessa diferença é escolha da relação de sensibilidade (ver capítulo 3). Esta última abordagem precisa apenas da resolução de um sistema linear, enquanto a primeira necessita da inversão explícita da matriz Jacobiana e da multiplicação por um vetor para atingir o mesmo objetivo.

Capítulo 5

Conclusões e Sugestões para futuros trabalhos

5.1. Conclusões

No presente trabalho foram abordados três tópicos. O primeiro foi a inclusão de transações de energia na formulação do problema de Fluxo de Potência Ótimo (FPO) com a introdução da mínima quantidade de variáveis. O segundo aspecto abordado foi aplicação do algoritmo do Máximo Passo no Caminho Central, o qual é uma variante do método convencional de Pontos Interiores, utilizado para superar as dificuldades de convergência do processo iterativo provenientes da alteração dos limites de geração. O terceiro tópico considerado foi a alocação das perdas de potência ativa entre transações.

Em relação à modelagem das transações no FPO, as seguintes vantagens podem ser citadas:

- a metodologia pode ser usada tanto no modelo “Pool”, Bilateral ou Misto;
- a modelagem permite a utilização dos algoritmos de FPO já desenvolvidos, sem a necessidade de modificações profundas nos mesmos;
- o uso dos coeficientes horários permite ajustar os intercâmbios econômicos realisticamente, de uma forma simples, facilitando a operação do sistema;

- ao otimizar as perdas de potência ativa na transmissão, o operador independente do sistema influencia o aspecto econômico do sistema;
- as transações não são modeladas como variáveis de otimização e portanto o número destas permanece constante, mantendo-se a dimensão do problema;
- não é requerida a representação de limites máximo e mínimo nas transações, o que é de aplicação prática discutível e incrementa o número de restrições do sistema.

Com relação ao Algoritmo de Máximo Passo na Direção do Caminho Central, observa-se que o mesmo é numericamente robusto e apresenta um comportamento mais estável em relação ao número de iterações até a convergência, embora o algoritmo convencional apresente melhor desempenho em alguns intervalos.

No que se refere aos métodos de alocação de perdas, as seguintes observações podem ser feitas:

- os métodos fornecem resultados similares no que diz respeito à somatória das perdas totais do sistema;
- a diferença de tempos de execução esta diretamente ligada à precisão requerida na alocação de perdas;
- cada método tem uma aplicação em uma parte do processo de comercialização de energia. Por exemplo, a aproximação linear proposta por Gross e Tao permite ter uma idéia aproximada da distribuição das perdas, o que é apropriado para o planejamento da operação. Por outro lado, o método proposto por Cuervo e Galiana requer o estabelecimento de um ponto de operação para o sistema para efetuar a alocação.

5.2.Sugestões para Futuros Trabalhos

Para dar continuidade ao presente trabalho, sugere-se:

- incluir as restrições de fluxos nas linhas e taps de transformadores;
- modelar as transações de potência reativa;

- estabelecer uma relação entre o número de iterações e a precisão no método de Cuervo e Galiana;
- determinar coeficientes mais precisos nos métodos de Sensibilidade;
- analisar com mais detalhes a convergência do algoritmo baseado na distância ótima ao caminho central.

Anexo A

Alocação das Perdas às Transações

Neste anexo são mostrados os resultados por transação para os sistemas teste IEEE de 30 e 118 barras e realístico SSB de 352 barras.

Tabela 1 : Resultados da alocação de Perdas para o Sistema IEEE de 30 barras.

Barra #		Valor [MW]	Custo de transmissão via Multiplicador es [\$h]	Finney Othman e Rutz [\$h]	Sensibilidade		Gross e Tao [MW]	Galiana (100 interv.) [MW]
Início	Fim				Múltiplas barras de folga [MW]	Simples barra de Folga [MW]		
1	3	2,4	0,00335	0,003218	0,0658	0,060206	0,0675	0,0605
2	4	7,6	0,00495	0,004854	0,0936	0,090804	0,0936	0,0906
1	7	15	0,03862	0,038311	0,7226	0,716712	0,7572	0,6908
8	7	7,8	0,00264	0,002877	0,0481	0,053829	0,0500	0,0537
2	7	0,0	0,0000	0,0000	0,0000	0,00000	0,0000	0,0000
13	10	5,8	0,00327	0,003448	0,0604	0,064504	0,0559	0,0590
1	12	10,0	0,01643	0,016103	0,3195	0,301249	0,3322	0,2959
8	12	1,2	-0,00071	-0,00069	-0,0121	-0,01291	-0,0130	-0,0115
2	14	6,2	0,00596	0,006088	0,1134	0,113898	0,1131	0,1123
5	15	8,2	-0,00438	-0,00407	-0,0660	-0,07621	-0,1019	-0,0654
8	16	3,5	-0,00064	-0,0005	-0,0085	-0,00942	-0,0138	-0,0069
11	17	9,0	0,00088	0,001063	0,0185	0,019892	0,0119	0,0191
13	18	3,2	0,00322	0,003396	0,0587	0,06354	0,0507	0,0605
1	19	9,5	0,02623	0,026398	0,4946	0,493848	0,4834	0,4788
2	20	2,2	0,00332	0,003401	0,0613	0,063619	0,0576	0,0613
1	21	15,0	0,03742	0,037477	0,7106	0,701122	0,7088	0,6775

Tabela 1 : Resultados da alocação de Perdas para o Sistema IEEE de 30 barras. Continuação

Barra #		Valor [MW]	Custo de transmissão via Multiplicador es [\$ /h]	Finney Othman e Rutz [\$ /h]	Sensibilidade		Gross e Tao [MW]	Galiana (100 interv.) [MW]
Início	Fim				Múltiplas barras de folga [MW]	Simples barra de Folga [MW]		
5	21	2,5	-0,00082	-0,00072	-0,0113	-0,01343	-0,0211	-0,0115
11	23	3,2	0,00138	0,001496	0,0255	0,027978	0,0178	0,0277
13	24	8,7	0,01015	0,010613	0,1824	0,198546	0,1560	0,1878
2	26	3,5	0,00739	0,007547	0,1323	0,141179	0,1159	0,1352
11	29	2,4	0,00251	0,002629	0,0437	0,049174	0,0340	0,0464
13	30	10,6	0,02231	0,023119	0,3844	0,432508	0,3223	0,4061
1	30	0,0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
1	2	21,7	0,02462	0,024073	0,4809	0,450349	0,5005	0,4391
1	8	30,0	0,06708	0,065555	1,2600	1,226387	1,3220	1,1751
1	5	94,2	0,26596	0,262401	4,8878	4,908959	5,2467	4,6887
Totais					10,0662	10,06634	10,3473	9,6708

Tabela 2 : Resultados da alocação de Perdas para o Sistema IEEE de 118 barras.

Barras		Valor [MW]	Custo de transmissão via Multiplicador es [\$ /h]	Finney Othman e Rutz [\$ /h]	Sensibilidade		Gross e Tao [MW]	Galiana (100 int.) [MW]
Início	Fim				Múltiplas barras de folga [MW]	Simples barra [MW]		
4	36	31,00	0,07649	0,072675	3,1994	2,560132	2,776	2,1545
4	66	39,00	0,1415	0,137963	5,3935	4,860044	5,4114	4,0253
4	71	0,00	0	0	0	0	0	0
4	94	5,00	0,03932	0,033361	1,1479	1,175207	1,4359	1,1322
4	116	84,00	0,33833	0,35266	12,5719	12,42318	13,1064	9,7424
4	118	33,00	0,17147	0,12874	5,9201	4,535144	6,3134	4,9508
8	36	0,00	0	0	0	0	0	0
8	82	4,00	0,0271	0,022548	0,8244	0,794283	0,9891	0,7758
8	90	63,00	0,57199	0,486631	15,3412	17,14259	21,2622	16,5385
8	91	10,00	0,08753	0,074395	2,3873	2,620723	3,2901	2,5428
8	93	7,00	0,05678	0,048171	1,6018	1,696923	2,0774	1,6353
8	98	34,00	0,20521	0,173593	6,5117	6,115166	7,6655	5,8969
8	99	42,00	0,3009	0,255897	8,9481	9,014513	11,1518	8,7538
8	100	37,00	0,29765	0,253295	8,4272	8,922852	10,8557	8,5778
8	103	23,00	0,20305	0,17335	5,5154	6,106613	7,286	5,807
8	107	50,00	0,49264	0,422363	12,713	14,87863	17,2072	13,9147
8	113	6,00	0,00425	0,003714	0,1972	0,130832	0,1703	0,1302
8	117	20,00	0,0092	0,008249	0,4334	0,29059	0,3968	0,2772
10	28	0,00	0	0	0	0	0	0
10	33	0,00	0	0	0	0	0	0
10	34	25,00	0,06818	0,064429	2,9521	2,269648	2,6362	1,9588
10	35	33,00	0,09216	0,087077	3,9689	3,067469	3,5428	2,6425
10	38	0,00	0	0	0	0	0	0

Tabela 2 : Resultados da alocação de Perdas para o Sistema IEEE de 118 barras. Continuação.

Barras		Valor [MW]	Custo de transmissão via Multiplicado res [\$ /h]	Finney Othman e Rutz [\$ /h]	Sensibilidade		Gross e Tao [MW]	Cuervo e Galiana (100 int.) [MW]
Início	Fim				Múltiplas barras de folga [MW]	Simple barra [MW]		
10	41	7,00	0,02413	0,022527	0,9862	0,793545	0,9284	0,69
10	43	18,00	0,06017	0,055848	2,48	1,967366	2,2839	1,7104
10	44	16,00	0,0619	0,056488	2,4501	1,9899	2,3708	1,7591
10	45	23,00	0,09047	0,082221	3,5645	2,896397	3,511	2,5792
10	47	9,00	0,03457	0,031347	1,397	1,10425	1,4126	1,0193
10	48	20,00	0,0784	0,071647	3,0922	2,523931	3,1174	2,2486
10	50	17,00	0,07691	0,071363	2,9088	2,513924	2,9846	2,1991
10	51	17,00	0,09023	0,084424	3,2361	2,974013	3,3829	2,5576
10	59	80,00	0,40811	0,393815	14,8071	13,87297	15,624	11,6794
10	77	50,00	0,27094	0,216929	9,6905	7,641786	10,6806	7,9474
10	77	11,00	0,05961	0,047724	2,1319	1,681193	2,3497	1,7484
10	78	30,00	0,16395	0,132429	5,8436	4,665082	6,4488	4,8042
10	79	39,00	0,21008	0,172262	7,5254	6,068289	8,3054	6,1618
10	82	50,00	0,36198	0,303299	11,5212	10,68435	13,5855	10,4769
10	85	24,00	0,21393	0,181602	6,2009	6,397308	7,9795	6,2188
10	86	21,00	0,19348	0,164465	5,5218	5,79364	7,1248	5,5983
12	33	23,00	0,03319	0,031749	1,4105	1,11844	1,181	0,9445
12	112	68,00	0,70827	0,607956	17,0267	21,41651	23,8079	19,6729
12	114	8,00	0,00001	-0,00061	0,007	-0,02133	-0,0001	-0,002
24	11	30,00	-0,01626	-0,00722	-0,7748	-0,25441	-0,7232	-0,4975
24	34	25,00	0,03648	0,041817	1,3832	1,473103	1,1458	0,9618
24	102	3,00	0,02272	0,020032	0,5856	0,705676	0,8259	0,6573
24	110	39,00	0,3603	0,317636	8,5176	11,18941	12,2433	10,1043
25	22	10,00	0,00975	0,009457	0,5038	0,333144	0,4573	0,3223
25	23	7,00	0,00386	0,003493	0,2189	0,123049	0,2036	0,1355
25	29	24,00	0,01368	0,013484	0,6983	0,475019	0,696	0,4269
25	67	28,00	0,11468	0,114672	4,2937	4,039569	4,4441	3,2884
25	70	50,00	0,19623	0,150895	7,5247	5,315581	7,7983	5,7929
25	88	33,00	0,29085	0,250447	8,1798	8,822525	10,9237	8,481
25	104	38,00	0,35876	0,311861	9,778	10,98595	12,8999	10,292
25	105	31,00	0,29904	0,260044	8,0662	9,160605	10,6939	8,5578
25	109	8,00	0,08045	0,069979	2,1258	2,465172	2,8483	2,2908
26	4	39,00	-0,00157	0,001086	-0,0762	0,03827	-0,0035	-0,0513
26	7	19,00	0,00627	0,007048	0,3149	0,248289	0,3142	0,2
26	8	28,00	0,00263	0,004452	0,1441	0,156824	0,1789	0,0999
26	12	47,00	0,0195	0,02074	0,951	0,730625	0,9397	0,6046
26	20	18,00	0,02227	0,021641	1,064	0,762345	0,9352	0,6907
26	24	13,00	0,01167	0,008247	0,5667	0,290505	0,5403	0,3621
26	28	17,00	0,00613	0,005503	0,3121	0,193841	0,3044	0,1804
26	39	12,00	0,03325	0,032067	1,3452	1,129637	1,2199	0,9292
26	62	12,00	0,05072	0,050569	1,843	1,781397	1,9275	1,442
26	70	16,00	0,06082	0,045997	2,3065	1,620324	2,3891	1,7833
26	78	40,00	0,2038	0,165767	7,0248	5,839499	7,8764	5,9245

Tabela 2 : Resultados da alocação de Perdas para o Sistema IEEE de 118 barras. Continuação.

Barras		Valor [MW]	Custo de transmissão via Multiplicado res [\$/h]	Finney Othman e Rutz [\$/h]	Sensibilidade		Gross e Tao [MW]	Cuervo e Galiana (100 int.) [MW]
Início	Fim				Múltiplas barras de folga [MW]	Simples barra [MW]		
26	78	1,00	0,00509	0,004144	0,1756	0,145987	0,1969	0,1481
26	83	20,00	0,14829	0,125628	4,4169	4,425521	5,4409	4,2594
26	92	60,00	0,51066	0,439086	14,3392	15,46771	19,1359	14,8636
26	96	38,00	0,25535	0,217434	7,9144	7,659555	9,5117	7,3423
26	108	2,00	0,01964	0,017014	0,5158	0,59937	0,6927	0,5583
27	31	43,00	0,00968	0,009733	0,4596	0,342858	0,4636	0,288
27	56	50,00	0,25966	0,250771	8,5136	8,833926	9,2722	7,2405
27	57	12,00	0,0568	0,054617	1,9213	1,923981	2,0535	1,5926
27	106	43,00	0,4001	0,347053	10,4265	12,22566	14,0647	11,4241
31	27	71,00	-0,01598	-0,01607	-0,7588	-0,56611	-0,7655	-0,4756
31	58	0,00	0	0	0	0	0	0
31	60	0,00	0	0	0	0	0	0
31	84	11,00	0,0861	0,073084	2,3411	2,574538	3,0849	2,4815
40	40	66,00	0	0	0	0	0	0
40	62	25,00	0,03355	0,036109	0,9498	1,272016	1,3506	0,9861
40	63	0,00	0	0	0	0	0	0
42	11	25,00	-0,07258	-0,06751	-2,7293	-2,37805	-2,6452	-2,0058
42	13	24,00	-0,06209	-0,05769	-2,2603	-2,03234	-2,2298	-1,6884
42	46	28,00	-0,00475	-0,00757	-0,1417	-0,26657	-0,0561	-0,1359
42	72	12,00	-0,01111	-0,01673	-0,3468	-0,58951	-0,3254	-0,253
42	73	6,00	0,00176	-0,00282	0,0575	-0,09943	0,1091	0,0773
42	102	2,00	0,01042	0,008436	0,2237	0,297167	0,3872	0,3109
46	1	51,00	-0,12968	-0,11468	-4,8402	-4,03971	-4,8752	-3,519
46	2	20,00	-0,05151	-0,04572	-1,9353	-1,61065	-1,9397	-1,4074
46	6	52,00	-0,14674	-0,13037	-5,6243	-4,59241	-5,5835	-4,0534
46	101	22,00	0,11573	0,097568	2,5473	3,437052	4,1868	3,467
49	3	39,00	-0,12411	-0,11369	-4,5173	-4,0051	-4,6509	-3,442
49	5	0,00	0	0	0	0	0	0
49	32	9,00	-0,02806	-0,02649	-1,0114	-0,9331	-1,0502	-0,7829
49	42	96,00	-0,03227	-0,0264	-0,9332	-0,93006	-1,558	-0,9812
49	54	15,00	0,02755	0,027563	0,6802	0,970978	0,8639	0,7395
49	58	12,00	0,01932	0,019187	0,4864	0,675919	0,5966	0,5246
49	74	50,00	0,05661	0,008609	1,5577	0,303285	1,9276	1,7697
61	13	10,00	-0,03532	-0,0351	-1,2009	-1,23633	-1,294	-0,982
61	14	14,00	-0,04965	-0,04938	-1,6932	-1,73965	-1,8156	-1,3837
61	15	90,00	-0,26883	-0,26975	-8,6389	-9,5025	-9,8477	-7,4136
65	16	25,00	-0,07901	-0,0813	-2,7869	-2,86388	-2,9164	-2,1997
65	17	11,00	-0,03239	-0,03355	-1,114	-1,18186	-1,2003	-0,8983
65	19	20,00	-0,04919	-0,0517	-1,6038	-1,82129	-1,8215	-1,3464
65	34	9,00	-0,01283	-0,01422	-0,3845	-0,50076	-0,52	-0,3695
65	41	30,00	-0,02117	-0,02816	-0,5977	-0,99187	-0,918	-0,6252
65	47	25,00	-0,0078	-0,01684	-0,1396	-0,59328	-0,1567	-0,1538
65	55	50,00	0,08343	0,067319	2,0417	2,371465	2,622	2,2289
65	56	15,00	0,0246	0,019725	0,6031	0,694862	0,7723	0,6551
65	83	0,00	0	0	0	0	0	0

Tabela 2 : Resultados da alocação de Perdas para o Sistema IEEE de 118 barras. Continuação.

Barras		Valor [MW]	Custo de transmissão via Multiplicado res [\$ /h]	Finney Othman e Rutz [\$ /h]	Sensibilidade		Gross e Tao [MW]	Cuervo e Galiana (100 int.) [MW]
Início	Fim				Múltiplas barras de folga [MW]	Simples barra [MW]		
65	94	25,00	0,10104	0,070338	2,1495	2,477803	3,548	2,9438
65	95	42,00	0,15534	0,105255	3,3671	3,707821	5,4064	4,5034
66	18	60,00	-0,14476	-0,14439	-4,8692	-5,08625	-5,39	-3,9661
66	19	25,00	-0,05662	-0,0566	-1,8722	-1,99379	-2,114	-1,546
66	21	14,00	-0,035	-0,03526	-1,158	-1,24215	-1,2798	-0,9437
66	52	18,00	0,0291	0,024947	0,7363	0,878805	0,8997	0,7852
66	53	23,00	0,04335	0,03815	1,0733	1,343913	1,3499	1,1617
66	55	13,00	0,02422	0,021678	0,5997	0,763647	0,7664	0,6508
66	56	19,00	0,03486	0,031087	0,8646	1,095101	1,102	0,934
66	57	0,00	0	0	0	0	0	0
66	75	29,40	0,03355	-0,00234	0,9233	-0,08257	1,1906	1,0396
66	76	50,00	0,09329	0,034536	2,3667	1,216588	3,0605	2,7344
66	93	5,00	0,02309	0,017376	0,4882	0,612103	0,8225	0,6764
66	116	100,00	0,03996	0,066081	1,1369	2,327845	1,7276	1,2769
69	11	15,00	-0,05092	-0,06682	-1,8631	-2,35398	-1,9758	-1,4645
69	32	50,00	-0,1637	-0,22114	-5,8844	-7,79	-6,3188	-4,7084
69	39	15,00	-0,01471	-0,03264	-0,4481	-1,14993	-0,7128	-0,472
69	45	30,00	-0,00562	-0,04631	-0,1849	-1,63149	-0,4372	-0,2637
69	60	78,00	0,0415	-0,04493	1,0149	-1,58257	1,0433	0,9986
69	62	40,00	0,01902	-0,02538	0,4646	-0,89394	0,4579	0,4506
69	74	18,00	0,01758	-0,02353	0,4651	-0,82901	0,5197	0,5079
69	75	17,60	0,01725	-0,02402	0,4547	-0,8462	0,5291	0,5003
69	76	18,00	0,03064	-0,01066	0,7507	-0,37563	0,9126	0,8583
69	83	0,00	0	0	0	0	0	0
69	88	15,00	0,07409	0,038966	1,4935	1,372646	2,628	2,1555
69	92	5,00	0,0238	0,012348	0,4851	0,434985	0,8488	0,6941
69	115	22,00	-0,07368	-0,09893	-2,6748	-3,48493	-2,8566	-2,1292
80	9	0,00	0	0	0	0	0	0
80	49	87,00	-0,0878	-0,0537	-2,3867	-1,89167	-3,8154	-2,8674
80	54	98,00	0,08111	0,119592	1,7556	4,21288	1,3467	1,6012
80	59	197,00	0,02502	0,131291	0,3609	4,625006	-1,2014	-0,1409
80	80	13,00	0	0	0	0	0	0
80	90	100,00	0,45687	0,389717	8,4568	13,72858	16,0539	13,1404
80	97	15,00	0,01624	0,013276	0,359	0,467658	0,5354	0,4539
Totais					292,0913	292,0907	364,9425	290,8551

Tabela 3 : Resultados da alocação de Perdas para o Sistema IEEE de 352 barras.

Barras		Valor real [MW]	Custo de transmissão o via Multiplicadores [\$ /h]	Finney Othman e Rutz [\$ /h]	Sensibilidade		Gross e Tao [MW]	Cuervo e Galiana (100 int.) [MW]
Início	Fim				Múltiplas barras de folga [MW]	Simples barra de folga [MW]		
91	62	5,0	0,01188	0,01212	0,21150	0,22014	0,18930	0,18700
91	123	2,2	0,00437	0,00446	0,07880	0,08093	0,06700	0,06660
91	152	10,5	0,02025	0,02068	0,36640	0,37567	0,31350	0,30830
91	182	12,8	0,02621	0,02679	0,47250	0,48659	0,40950	0,40470
91	242	5,5	0,01313	0,01346	0,23440	0,24438	0,20080	0,20790
91	278	12,0	0,02335	0,02380	0,42150	0,43232	0,36080	0,35510
91	282	52,0	0,08785	0,08945	1,59920	1,62470	1,29620	1,29230
91	291	10,0	0,02186	0,02221	0,39040	0,40344	0,34820	0,33820
165	1	6,3	0,00380	0,00404	0,06770	0,07344	0,03070	0,05880
165	119	15,8	0,01870	0,01962	0,32210	0,35637	0,22580	0,31420
165	165	0,3	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
165	238	7,6	0,00725	0,00758	0,12550	0,13762	0,08700	0,11800
226	35	18,2	0,01276	0,01326	0,21590	0,24088	0,22230	0,22920
226	124	4,0	0,00111	0,00117	0,01930	0,02130	0,02030	0,01980
226	153	3,5	0,00055	0,00059	0,00970	0,01067	0,00980	0,00930
226	183	4,5	0,00062	0,00067	0,01110	0,01215	0,01010	0,01010
226	212	4,8	0,00240	0,00246	0,04040	0,04463	0,04380	0,04180
226	283	11,0	0,00106	0,00112	0,01850	0,02026	0,01630	0,01580
226	326	1,6	0,00028	0,00030	0,00490	0,00536	0,00500	0,00470
257	2	8,7	0,02388	0,02414	0,43860	0,43846	0,37380	0,38680
257	89	13,1	0,03551	0,03589	0,65300	0,65181	0,55500	0,57230
257	179	11,5	0,03170	0,03206	0,58210	0,58221	0,49830	0,51340
257	208	11,0	0,03364	0,03400	0,61110	0,61746	0,53750	0,54950
257	239	6,9	0,02112	0,02135	0,38370	0,38769	0,33660	0,34500
257	257	0,1	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
257	279	80,0	0,21090	0,21291	3,88420	3,86701	3,27500	3,38800
257	321	2,5	0,00672	0,00678	0,12340	0,12308	0,10500	0,10800
261	32	11,0	0,03950	0,04008	0,74910	0,72794	0,64730	0,71170
261	90	0,9	0,00135	0,00136	0,02760	0,02474	0,02480	0,02920
261	180	14,2	0,04995	0,05068	0,94970	0,92041	0,83760	0,89940
261	240	5,6	0,01939	0,01965	0,36910	0,35694	0,32370	0,34820
261	280	150,0	0,51669	0,52310	9,83130	9,50066	8,63110	9,27680
261	322	4,4	0,01516	0,01535	0,28840	0,27876	0,25330	0,27220
262	4	3,4	0,01296	0,01304	0,24130	0,23682	0,21790	0,23250
262	62	15,0	0,05775	0,05817	1,07490	1,05652	0,97810	1,03730
262	62	1,3	0,00500	0,00504	0,09320	0,09157	0,08480	0,08990
262	122	13,0	0,04443	0,04469	0,83850	0,81173	0,74790	0,79830
262	181	8,8	0,03099	0,03121	0,58330	0,56687	0,52230	0,55770
262	281	27,0	0,09446	0,09499	1,77760	1,72517	1,59260	1,69620
262	287	10,0	0,03562	0,03579	0,66890	0,65000	0,60250	0,63970
262	324	50,0	0,17201	0,17268	3,23770	3,13630	2,89210	3,08060
269	7	8,4	0,00293	0,00313	0,05100	0,05690	0,04350	0,05590
269	154	23,8	0,00124	0,00149	0,02470	0,02706	0,02610	0,02870
269	244	6,4	-0,00032	-0,00026	-0,00410	-0,00462	-0,00590	-0,00440

Tabela 3 : Resultados da alocação de Perdas para o Sistema IEEE de 352 barras. Continuação.

Barras		Valor real [MW]	Custo de transmissã o via Multiplicad ores [\$h]	Finney Othman e Rutz [\$h]	Sensibilidade		Gross e Tao [MW]	Cuervo e Galiana (100 int.) [MW]
Início	Fim				Múltiplas barras de folga [MW]	Simples barra de folga [MW]		
270	66	17,3	0,00532	0,00547	0,08970	0,09935	0,09940	0,09710
270	155	8,2	0,00043	0,00051	0,00840	0,00923	0,00900	0,00980
270	185	6,8	0,00050	0,00057	0,00950	0,01041	0,00700	0,01010
270	245	11,4	-0,00057	-0,00045	-0,00720	-0,00809	-0,01060	-0,00780
270	285	5,3	0,00001	0,00001	0,00020	0,00019	0,00020	0,00020
271	38	7,0	0,00118	0,00129	0,02110	0,02335	0,01890	0,02360
271	127	15,5	0,00668	0,00699	0,11370	0,12690	0,11780	0,12440
271	186	10,0	0,00111	0,00122	0,02010	0,02220	0,02090	0,02230
271	215	0,4	0,00018	0,00019	0,00310	0,00342	0,00300	0,00340
271	271	5,7	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
271	286	50,0	0,00428	0,00460	0,07750	0,08359	0,08460	0,08570
271	297	20,0	0,00328	0,00328	0,05620	0,05952	0,06510	0,06140
272	39	11,7	0,00197	0,00215	0,03520	0,03901	0,03170	0,03950
272	68	10,0	0,00075	0,00085	0,01410	0,01549	0,01520	0,01610
272	81	1,2	-0,00018	-0,00017	-0,00270	-0,00299	-0,00360	-0,00300
272	98	2,5	0,00039	0,00043	0,00710	0,00783	0,00670	0,00770
272	187	6,0	0,00066	0,00073	0,01210	0,01333	0,01250	0,01340
272	247	28,7	-0,04268	-0,04304	-0,74790	-0,78177	-0,61710	-0,62650
272	272	5,7	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
272	287	50,0	0,00680	0,00700	0,11950	0,12717	0,13510	0,13140
272	297	17,0	0,00279	0,00279	0,04780	0,05063	0,05540	0,05220
274	11	8,0	0,00249	0,00258	0,04280	0,04691	0,04950	0,04710
274	99	3,5	0,00150	0,00156	0,02580	0,02833	0,02820	0,02780
274	158	5,1	0,00376	0,00386	0,06320	0,07018	0,07120	0,06890
274	248	15,1	0,00281	0,00308	0,05130	0,05591	0,05580	0,05440
274	279	9,0	0,00197	0,00203	0,03380	0,03689	0,03950	0,03660
274	286	10,0	0,00352	0,00361	0,06010	0,06559	0,07040	0,06520
274	331	39,0	0,01376	0,01418	0,23550	0,25748	0,27300	0,25110
275	70	26,0	0,00895	0,00927	0,15340	0,16841	0,17940	0,16780
275	100	5,2	0,00157	0,00162	0,02690	0,02944	0,03050	0,02890
275	218	8,8	0,00220	0,00229	0,03810	0,04166	0,04330	0,04480
275	249	11,5	0,00214	0,00234	0,03900	0,04252	0,04250	0,04140
275	280	30,0	0,00796	0,00813	0,13480	0,14759	0,16000	0,14610
275	289	20,0	0,00618	0,00632	0,10470	0,11479	0,12380	0,11340
275	332	19,0	0,00817	0,00837	0,13860	0,15201	0,16090	0,14880
276	42	4,4	0,00298	0,00308	0,05050	0,05596	0,05540	0,05490
276	131	10,5	-0,00089	-0,00080	-0,01350	-0,01459	0,00160	0,00180
276	160	5,8	0,00176	0,00183	0,03040	0,03323	0,03350	0,03260
276	190	3,8	0,00144	0,00150	0,02470	0,02718	0,02830	0,02690
276	219	16,0	0,00384	0,00401	0,06670	0,07291	0,07660	0,07760
276	250	7,5	0,00184	0,00193	0,03200	0,03496	0,03670	0,03720
276	300	61,0	0,02634	0,02650	0,44330	0,48125	0,52590	0,47910
276	333	100,0	0,02799	0,02847	0,47040	0,51713	0,56170	0,50680
277	14	1,2	0,00034	0,00035	0,00590	0,00641	0,00650	0,00630
277	72	11,1	0,00791	0,00812	0,13300	0,14753	0,14830	0,14460

Tabela 3 : Resultados da alocação de Perdas para o Sistema IEEE de 352 barras. Continuação.

Barras		Valor real [MW]	Custo de transmissã o via Multiplicad ores [\$/h]	Finney Othman e Rutz [\$/h]	Sensibilidade		Gross e Tao [MW]	Cuervo e Galiana (100 int.) [MW]
Início	Fim				Múltiplas barras de folga [MW]	Simples barra de folga [MW]		
277	102	6,1	0,00414	0,00433	0,07080	0,07857	0,06920	0,07710
277	132	2,5	-0,00021	-0,00019	-0,00330	-0,00352	0,00040	0,00040
277	161	20,2	0,00740	0,00775	0,12810	0,14073	0,14670	0,13980
277	191	2,8	0,00147	0,00154	0,02530	0,02796	0,02620	0,02740
277	291	200,0	0,10026	0,10146	1,67890	1,84271	1,99600	1,81440
277	334	3,0	0,00081	0,00083	0,01360	0,01501	0,01630	0,01470
296	73	11,6	0,00521	0,00538	0,08760	0,09770	0,09360	0,09590
296	192	1,0	0,00002	0,00003	0,00050	0,00053	0,00040	0,00050
296	221	10,7	0,00125	0,00138	0,02280	0,02503	0,02370	0,02540
296	252	9,4	-0,00009	-0,00003	-0,00030	-0,00061	-0,00190	-0,00060
296	292	1,3	0,00021	0,00021	0,00340	0,00372	0,00410	0,00370
296	296	4,3	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
304	104	7,3	0,00099	0,00112	0,01810	0,02031	0,01330	0,02010
304	163	8,4	-0,00128	-0,00136	-0,02250	-0,02463	-0,00160	-0,01200
304	222	14,0	-0,00225	-0,00211	-0,03500	-0,03830	-0,04390	-0,03760
304	253	11,6	-0,00077	-0,00074	-0,01230	-0,01339	-0,01450	-0,01290
304	278	20,0	-0,00123	-0,00121	-0,02020	-0,02188	-0,02300	-0,01980
304	293	20,0	0,00314	0,00308	0,05050	0,05595	0,06160	0,05580
304	298	20,0	0,00106	0,00091	0,01710	0,01647	0,02290	0,02030
304	304	2,5	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
304	336	33,0	0,00438	0,00449	0,07320	0,08146	0,08470	0,08050
305	46	13,6	0,00169	0,00176	0,02880	0,03200	0,03230	0,03190
305	135	4,5	-0,00076	-0,00077	-0,01280	-0,01397	-0,01180	-0,01010
305	164	18,0	-0,00073	-0,00081	-0,01360	-0,01471	0,03170	0,01080
305	223	13,0	-0,00072	-0,00058	-0,00960	-0,01050	-0,01530	-0,01070
305	254	1,8	0,00012	0,00013	0,00210	0,00229	0,00190	0,00230
305	305	2,5	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
307	136	7,0	0,00137	0,00147	0,02410	0,02667	0,02340	0,02620
307	166	6,0	0,00076	0,00082	0,01340	0,01485	0,01540	0,01530
307	195	1,3	0,00061	0,00064	0,01040	0,01157	0,01040	0,01140
307	224	4,0	-0,00049	-0,00046	-0,00760	-0,00830	-0,00990	-0,00820
307	255	1,2	0,00093	0,00096	0,01550	0,01752	0,01390	0,01720
307	302	10,0	0,00136	0,00127	0,02260	0,02304	0,02690	0,02490
307	307	3,3	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
307	333	6,0	0,00039	0,00039	0,00630	0,00714	0,00770	0,00700
307	338	62,0	0,01369	0,01412	0,23210	0,25643	0,26260	0,25090
309	19	38,9	0,00360	0,00394	0,06430	0,07147	0,06860	0,07520
309	167	4,7	0,00060	0,00064	0,01050	0,01168	0,01210	0,01210
309	225	41,4	-0,00526	-0,00546	-0,09090	-0,09916	-0,08710	-0,08060
309	256	9,5	0,00103	0,00111	0,01820	0,02011	0,01740	0,01970
309	279	20,0	0,00009	0,00016	0,00250	0,00288	0,00140	0,00380
309	286	10,0	0,00138	0,00143	0,02380	0,02604	0,02720	0,02640
309	297	50,0	0,01082	0,01076	0,18180	0,19543	0,21420	0,19990
309	309	8,0	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
311	20	3,8	-0,00058	-0,00054	-0,00900	-0,00987	-0,01100	-0,00910

Tabela 3 : Resultados da alocação de Perdas para o Sistema IEEE de 352 barras. Continuação.

Barras		Valor real [MW]	Custo de transmissã o via Multiplicad ores [\$/h]	Finney Othman e Rutz [\$/h]	Sensibilidade		Gross e Tao [MW]	Cuervo e Galiana (100 int.) [MW]
Início	Fim				Múltiplas barras de folga [MW]	Simples barra de folga [MW]		
311	30	6,0	-0,00062	-0,00054	-0,00900	-0,00985	-0,01220	-0,00860
311	49	11,5	-0,00124	-0,00115	-0,01910	-0,02086	-0,02310	-0,01960
311	227	11,6	-0,00095	-0,00080	-0,01340	-0,01452	-0,01810	-0,01300
311	298	40,0	-0,00337	-0,00349	-0,05260	-0,06341	-0,05890	-0,05380
311	333	20,0	-0,00359	-0,00355	-0,05890	-0,06438	-0,06750	-0,06240
312	139	8,2	0,00188	0,00206	0,03310	0,03746	0,02760	0,03720
312	198	11,7	-0,00334	-0,00319	-0,05260	-0,05796	-0,06450	-0,05680
312	228	14,2	-0,00123	-0,00106	-0,01770	-0,01927	-0,02330	-0,01730
312	299	16,0	-0,00051	-0,00051	-0,00680	-0,00923	-0,00730	-0,00600
313	51	2,2	0,00098	0,00105	0,01670	0,01898	0,01300	0,01860
313	80	13,8	-0,00423	-0,00402	-0,06660	-0,07301	-0,08450	-0,07230
313	229	10,2	0,00509	0,00544	0,08670	0,09888	0,06170	0,09680
313	260	0,5	-0,00177	-0,00175	-0,03250	-0,03171	-0,03030	-0,03160
313	313	0,9	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
313	344	4,7	-0,00077	-0,00075	-0,01260	-0,01357	-0,01510	-0,01350
314	23	11,0	-0,00190	-0,00181	-0,03020	-0,03293	-0,03690	-0,03120
314	52	1,6	0,00071	0,00076	0,01210	0,01377	0,00950	0,01350
314	81	5,0	-0,00153	-0,00146	-0,02420	-0,02654	-0,03060	-0,02620
314	111	7,0	-0,00045	-0,00035	-0,00590	-0,00627	-0,00880	-0,00560
314	141	15,5	-0,00380	-0,00352	-0,05820	-0,06384	-0,07580	-0,06350
314	171	18,5	-0,00079	-0,00048	-0,00860	-0,00863	-0,01670	-0,00680
314	230	6,4	-0,00009	0,00003	0,00020	0,00059	-0,00200	0,00130
314	263	7,4	0,00139	0,00156	0,02500	0,02832	0,02120	0,02770
314	280	3,0	-0,00048	-0,00046	-0,00770	-0,00837	-0,00940	-0,00810
314	301	50,0	-0,00516	-0,00547	-0,08240	-0,09934	-0,10030	-0,08770
314	302	30,0	-0,00226	-0,00238	-0,03470	-0,04326	-0,04350	-0,03630
314	314	0,6	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
315	24	9,0	-0,00004	-0,00001	0,00010	-0,00013	-0,00030	0,00120
315	53	4,0	0,00246	0,00256	0,04140	0,04648	0,03700	0,04570
315	82	7,5	-0,00103	-0,00095	-0,01540	-0,01719	-0,02090	-0,01690
315	142	21,5	-0,00165	-0,00132	-0,02100	-0,02394	-0,03360	-0,02390
315	172	15,2	0,00192	0,00212	0,03510	0,03847	0,03680	0,03970
315	201	6,2	0,00244	0,00251	0,04110	0,04559	0,04560	0,04490
315	264	19,0	0,00680	0,00719	0,11770	0,13057	0,11750	0,12860
315	302	100,0	0,00929	0,00848	0,16020	0,15398	0,18740	0,17590
315	315	0,6	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
317	25	3,2	-0,00003	-0,00002	-0,00020	-0,00034	-0,00030	0,00010
317	113	4,7	0,00152	0,00156	0,02560	0,02828	0,02820	0,02780
317	173	38,0	0,00428	0,00471	0,07820	0,08549	0,08310	0,08860
317	232	6,0	0,00119	0,00128	0,02110	0,02319	0,02070	0,02290
317	265	21,0	0,01050	0,01094	0,17800	0,19875	0,18450	0,19560
317	301	20,0	0,00129	0,00108	0,02200	0,01966	0,02610	0,02410
317	303	45,0	0,00404	0,00433	0,07350	0,07872	0,07810	0,07660
317	317	0,6	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000

Tabela 3 : Resultados da alocação de Perdas para o Sistema IEEE de 352 barras. Continuação.

Barras		Valor real [MW]	Custo de transmissão via Multiplicado res [\$ /h]	Finney Othman e Rutz [\$ /h]	Sensibilidade		Gross e Tao [MW]	Cuervo e Galiana (100 int.) [MW]
Início	Fim				Múltiplas barras de folga [MW]	Simples barra de folga [MW]		
318	55	0,6	0,00041	0,00043	0,00690	0,00773	0,00600	0,00760
318	84	13,0	0,00130	0,00146	0,02450	0,02656	0,02330	0,02630
318	144	3,1	-0,00020	-0,00015	-0,00240	-0,00274	-0,00420	-0,00270
318	203	12,0	0,00693	0,00725	0,11740	0,13169	0,09620	0,12980
318	266	12,8	0,00359	0,00366	0,06050	0,06652	0,06810	0,06540
318	287	6,0	0,00085	0,00087	0,01500	0,01588	0,01700	0,01650
318	306	1,3	-0,00006	-0,00006	-0,00090	-0,00105	-0,00110	-0,00100
318	318	0,6	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
318	348	32,0	0,00699	0,00701	0,11650	0,12737	0,13170	0,12470
320	56	3,9	0,00023	0,00026	0,00440	0,00471	0,00480	0,00510
320	85	13,0	0,00130	0,00145	0,02430	0,02640	0,02320	0,02620
320	115	9,0	-0,00436	-0,00443	-0,07390	-0,08040	-0,06950	-0,06610
320	145	3,8	-0,00024	-0,00019	-0,00300	-0,00340	-0,00520	-0,00330
320	234	3,1	0,00120	0,00124	0,02020	0,02245	0,02240	0,02210
320	267	2,6	0,00073	0,00074	0,01230	0,01351	0,01380	0,01330
320	320	4,9	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
320	349	0,5	0,00011	0,00011	0,00180	0,00191	0,00200	0,00190
323	30	30,0	0,00231	0,00170	0,04440	0,03083	0,04090	0,05200
323	59	0,5	0,00004	0,00003	0,00080	0,00056	0,00070	0,00080
323	178	12,0	0,00072	0,00046	0,01420	0,00833	0,01430	0,01630
323	207	1,9	0,00021	0,00017	0,00390	0,00311	0,00280	0,00440
323	237	2,2	0,00089	0,00085	0,01500	0,01540	0,01640	0,01640
323	278	100,0	-0,00186	-0,00459	-0,01950	-0,08343	-0,03700	-0,01800
323	291	40,0	0,00888	0,00767	0,14890	0,13933	0,17520	0,16190
323	301	13,0	0,00056	0,00001	0,00980	0,00024	0,01130	0,01070
342	28	7,6	0,00074	0,00080	0,01310	0,01444	0,00930	0,01370
342	57	1,2	0,00020	0,00021	0,00350	0,00384	0,00340	0,00370
342	116	11,0	0,00182	0,00196	0,03210	0,03551	0,03110	0,03420
342	146	3,6	-0,00007	-0,00006	-0,00090	-0,00107	-0,00200	-0,00130
342	205	3,6	0,00068	0,00072	0,01180	0,01306	0,01250	0,01310
342	298	5,0	0,00072	0,00069	0,01190	0,01246	0,01350	0,01280
342	310	12,0	0,00284	0,00282	0,04640	0,05115	0,05240	0,04900
342	323	3,1	0,00015	0,00024	0,00220	0,00436	0,00240	0,00220
342	342	0,5	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
342	350	17,0	0,00351	0,00343	0,05690	0,06229	0,06650	0,06040
343	117	2,4	0,00038	0,00040	0,00660	0,00732	0,00590	0,00690
343	147	3,6	-0,00011	-0,00010	-0,00160	-0,00184	-0,00350	-0,00230
343	206	3,9	0,00057	0,00061	0,01000	0,01105	0,00710	0,01080
343	236	7,4	0,00326	0,00335	0,05450	0,06078	0,05780	0,05870
343	343	0,5	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
Totais					38,09130	38,09064	34,92080	36,45310

Anexo B

Dados dos Sistemas Teste

B.1 Sistema de 3 Barras da referência [2]

Tabela B.1 : Dados das barras do sistema exemplo.

Barra N°	Limites de Geração P_g^{max} (p.u.)	Carga Pd (p.u.)
1	1	0,5
2	1,5	2,5
3	2,5	0,5

Tabela B.2 : Dados das linhas do sistema teste.

De Barra	A Barra	Reatância de linha X (p.u.)	Limite da linha P_{line}^{limite} (p.u.)
1	2	0,2	+/-0,6
2	3	0,1	+/-0,8
3	1	0,1	+/-0,8

B.2 Sistema IEEE de 6 Barras

Tabela B.3 : Dados das barras.

Barra #	Multiplicador de Potência Ativa	Multiplicador de Potência Reativa	P_g [pu]	Q_g [pu]	P_d [pu]	Q_d [pu]	Tensão [pu]
1	-2,68E+00	----	9,01E-01	4,14E-01	0,00E+00	0,00E+00	1,09998
2	-2,31E+00	----	5,50E-01	1,64E-01	0,00E+00	0,00E+00	1,09997
3	-2,95E+00	-1,36E-01	----	----	5,50E-01	1,30E-01	0,96779
4	-2,92E+00	-1,31E-01	----	----	0,00E+00	0,00E+00	0,98984
5	-2,92E+00	-1,88E-01	----	----	3,00E-01	1,80E-01	0,93947
6	-2,96E+00	-1,63E-01	----	----	5,00E-01	5,00E-02	0,97337

Tabela B.4 : Dados das linhas.

Barras		Linhas		Shunt
from	To	R [pu]	x [pu]	b [pu]
1	4	8	37	3
1	6	12,3	51,8	4,2
2	3	72,3	105	0
2	5	28,2	64	0
3	4	0	13,3	0
4	6	9,7	40,7	3
5	6	0	30	0

Tabela B.5 : Variáveis no limite

P_i Min	P_i Max	S Min	S Max	Limite
-4,03E-05	3,38E-01	2,00E-01	2,38E-05	Tensão barra 1
-4,01E-05	3,18E-01	2,00E-01	2,63E-05	Tensão barra 2

B.3 Sistema IEEE de 14 Barras

Tabela B.6 : Dados das barras.

Barra #	Multiplicador de Potência Ativa	Multiplicador de Potência Reativa	P_g [pu]	Q_g [pu]	P_d [pu]	Q_d [pu]	Tensão [pu]
1	-3,74E+00	-----	2,32E+00	-2,30E-01	0,00E+00	0,00E+00	1,06
2	-3,95E+00	-----	1,83E-01	1,92E-01	0,00E+00	0,00E+00	1,04543
3	-4,25E+00	-----	2,26E-07	1,87E-01	9,42E-01	1,90E-01	1,00999
4	-4,16E+00	6,33E-03	-----	-----	4,78E-01	-3,90E-02	1,02612
5	-4,09E+00	2,83E-03	-----	-----	7,60E-02	1,60E-02	1,03254
6	-4,10E+00	-----	2,20E-07	4,77E-01	1,12E-01	7,50E-02	1,067
7	-4,15E+00	-7,18E-05	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,0418
8	-4,15E+00	-----	2,22E-07	2,59E-01	0,00E+00	0,00E+00	1,0839
9	-4,15E+00	-3,71E-03	-----	-----	2,95E-01	1,66E-01	1,02495
10	-4,16E+00	-2,04E-02	-----	-----	9,00E-02	5,80E-02	1,02478
11	-4,14E+00	-1,94E-02	-----	-----	3,50E-02	1,80E-02	1,04206
12	-3,74E+00	6,44E-01	-----	-----	6,10E-02	1,60E-02	1,05
13	-4,11E+00	1,86E-01	-----	-----	1,35E-01	5,80E-02	1,04323
14	-4,22E+00	4,90E-02	-----	-----	1,49E-01	5,00E-02	1,01456

Tabela B.7 : Dados das linhas.

Barras		Linhas		Shunt
From	To	R [pu]	x [pu]	b [pu]
1	2	1,93	5,92	5,28
1	5	5,403	22,3	4,92
2	3	4,699	19,8	4,38
2	4	5,811	17,63	3,74
2	5	5,695	17,39	3,4
3	4	6,701	17,1	3,46
4	5	1,335	4,21	1,28
4	7	0	20,91	0
4	9	0	55,62	0
5	6	0	25,2	0
6	11	9,498	19,89	0
6	12	12,291	25,58	0
6	13	6,615	13,03	0
7	8	0	17,61	0
7	9	0	11	0
9	10	3,181	8,45	0

Tabela B.7 : Dados das linhas Continuação.

Barras		Linhas		Shunt
<i>From</i>	<i>To</i>	<i>R [pu]</i>	<i>x [pu]</i>	<i>b [pu]</i>
9	14	12,711	27,04	0
10	11	8,205	19,21	0
12	13	22,092	19,99	0
13	14	17,093	34,8	0

Tabela B.8 : Variáveis no limite

<i>Pi Min</i>	<i>Pi Max</i>	<i>S Min</i>	<i>S Max</i>	<i>Limite</i>
-5,74E+00	1,27E-03	2,26E-07	1,00E-03	Pg barra 3
-5,89E+00	1,27E-03	2,20E-07	1,00E-03	Pg barra 6
-5,84E+00	1,27E-03	2,22E-07	1,00E-03	Pg barra 8
-1,16E-05	9,32E-01	1,10E-01	1,61E-06	V barra 1
-3,23E-02	2,55E-06	4,35E-04	5,00E-01	V barra 2
-1,23E-04	1,51E-01	9,99E-03	1,29E-05	V barra 3
-4,91E+00	7,00E-06	1,77E-07	1,83E-01	V barra 6
-1,28E-05	4,82E+00	1,00E-01	1,99E-07	V barra 12

B.4 Sistema IEEE de 30 Barras

Tabela B.9 : Dados das barras.

<i>Barra #</i>	<i>Multiplicador de Potência Ativa</i>	<i>Multiplicador de Potência Reativa</i>	<i>Pg [pu]</i>	<i>Qg [pu]</i>	<i>Pd [pu]</i>	<i>Qd [pu]</i>	<i>Tensão [pu]</i>
1	-2,54E+00	-----	1,98E+00	-1,71E-01	0,00E+00	0,00E+00	1,1
2	-2,65E+00	-----	2,57E-01	2,92E-01	2,17E-01	1,27E-01	1,08578
3	-2,68E+00	-1,10E-02	-----	-----	2,40E-02	1,20E-02	1,07594
4	-2,72E+00	-9,85E-03	-----	-----	7,60E-02	1,60E-02	1,06975
5	-2,82E+00	-----	1,46E-01	2,98E-01	9,42E-01	1,90E-01	1,05903
6	-2,75E+00	-9,91E-03	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,06519
7	-2,79E+00	-1,50E-02	-----	-----	2,28E-01	1,09E-01	1,05542
8	-2,76E+00	-----	1,25E-01	4,19E-01	3,00E-01	3,00E-01	1,06865
9	-2,75E+00	-1,15E-02	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,06245
10	-2,76E+00	-1,85E-02	-----	-----	5,80E-02	2,00E-02	1,04193
11	-2,75E+00	-----	1,46E-01	2,00E-01	0,00E+00	0,00E+00	1,1
12	-2,70E+00	-4,71E-05	-----	-----	1,12E-01	7,50E-02	1,06626
13	-2,70E+00	-----	2,83E-01	2,41E-01	0,00E+00	0,00E+00	1,09641
14	-2,75E+00	-1,51E-02	-----	-----	6,20E-02	1,60E-02	1,04993
15	-2,77E+00	-2,69E-02	-----	-----	8,20E-02	2,50E-02	1,04318
16	-2,74E+00	-1,83E-02	-----	-----	3,50E-02	1,80E-02	1,04859
17	-2,76E+00	-2,57E-02	-----	-----	9,00E-02	5,80E-02	1,03854
18	-2,80E+00	-3,77E-02	-----	-----	3,20E-02	9,00E-03	1,03058
19	-2,81E+00	-4,08E-02	-----	-----	9,50E-02	3,40E-02	1,02626
20	-2,80E+00	-3,60E-02	-----	-----	2,20E-02	7,00E-03	1,02938

Tabela B.9 : Dados das barras Continuação.

Barra #	Multiplicador de Potência Ativa	Multiplicador de Potência Reativa	Pg [pu]	Qg [pu]	Pd [pu]	Qd [pu]	Tensão [pu]
21	-2,79E+00	-3,80E-02	-----	-----	1,75E-01	1,12E-01	1,02942
22	-2,78E+00	-3,75E-02	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,02993
23	-2,80E+00	-4,68E-02	-----	-----	3,20E-02	1,60E-02	1,02878
24	-2,82E+00	-6,15E-02	-----	-----	8,70E-02	6,70E-02	1,01804
25	-2,81E+00	-5,20E-02	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,02112
26	-2,86E+00	-8,65E-02	-----	-----	3,50E-02	2,30E-02	1,00351
27	-2,78E+00	-3,15E-02	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,03175
28	-2,77E+00	-1,77E-02	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,06025
29	-2,86E+00	-5,28E-02	-----	-----	2,40E-02	9,00E-03	1,0121
30	-2,91E+00	-6,15E-02	-----	-----	1,06E-01	1,90E-02	1,00073

Tabela B.10 : Dados das linhas.

Barras		Linhas		Shunt
from	To	R [pu]	x [pu]	b [pu]
1	2	1,92	5,75	5,28
1	3	4,52	18,52	4,08
2	4	5,7	17,37	3,68
2	5	4,72	19,83	4,18
2	6	5,81	17,63	3,74
3	4	1,32	3,79	0,84
4	6	1,19	4,14	0,9
4	12	0	25,6	0
5	7	4,6	11,6	2,04
6	7	2,67	8,2	1,7
6	8	1,2	4,2	0,9
6	9	0	20,8	0
6	10	0	55,6	0
6	28	1,69	5,99	1,3
8	28	63,6	20	4,28
9	10	0	11	0
9	11	0	20,8	0
10	17	3,24	8,45	0
10	20	9,36	20,9	0
10	21	3,48	7,49	0
10	22	7,27	14,99	0
12	13	0	14	0
12	14	12,31	25,59	0
12	15	6,62	13,04	0
12	16	9,45	19,87	0
14	15	22,1	19,97	0
15	18	10,7	21,85	0
15	23	10	20,2	0
16	17	8,24	19,32	0
18	19	6,39	12,92	0

Tabela B.10 : Dados das linhas. Continuação

Barras		Linhas		Shunt
from	To	R [pu]	x [pu]	b [pu]
19	20	3,4	6,8	0
21	22	1,16	2,36	0
22	24	11,5	17,9	0
23	24	13,2	27	0
24	25	18,85	32,92	0
25	26	25,44	38	0
25	27	10,93	20,87	0
27	28	0	39,6	0
27	29	21,98	41,53	0
27	30	32,02	60,27	0
29	30	23,99	45,33	0

Tabela B.11 : Variáveis no limite

Pi Min	Pi Max	S Min	S Max	Limite
-1,45E-06	4,64E-01	1,50E-01	4,56E-07	V barra 1
-1,45E-06	5,85E-02	1,50E-01	3,53E-06	V barra 11

B.5 Sistema IEEE de 118 Barras

Tabela B.12 : Dados das barras.

Barra #	Multiplicador de Potência Ativa	Multiplicador de Potência Reativa	Pg [pu]	Qg [pu]	Pd [pu]	Qd [pu]	Tensão [pu]
1	-1,12E+00	-1,37E-02	-----	-----	5,10E-01	2,70E-01	1,0122
2	-1,12E+00	-6,91E-03	-----	-----	2,00E-01	9,00E-02	1,0278
3	-1,11E+00	-9,05E-03	-----	-----	3,90E-01	1,00E-01	1,0227
4	-1,07E+00	-----	1,92E+00	-7,64E-01	3,90E-01	1,20E-01	1,0452
5	-1,07E+00	4,01E-03	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,0500
6	-1,10E+00	-2,08E-03	-----	-----	5,20E-01	2,20E-01	1,0373
7	-1,10E+00	-1,71E-03	-----	-----	1,90E-01	2,00E-02	1,0397
8	-1,08E+00	-----	2,96E+00	2,00E+00	2,80E-01	0,00E+00	1,0705
9	-1,06E+00	1,01E-02	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,0500
10	-1,03E+00	-----	4,90E+00	-1,90E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,0097
11	-1,10E+00	-4,86E-03	-----	-----	7,00E-01	2,30E-01	1,0361
12	-1,11E+00	-----	9,90E-01	1,44E+00	4,70E-01	1,00E-01	1,0453
13	-1,14E+00	-2,05E-02	-----	-----	3,40E-01	1,60E-01	1,0148
14	-1,14E+00	-1,21E-02	-----	-----	1,40E-01	1,00E-02	1,0325
15	-1,19E+00	-4,06E-02	-----	-----	9,00E-01	3,00E-01	1,0098
16	-1,13E+00	-1,10E-02	-----	-----	2,50E-01	1,00E-01	1,0367
17	-1,15E+00	-2,52E-02	-----	-----	1,10E-01	3,00E-02	1,0446
18	-1,19E+00	-4,17E-02	-----	-----	6,00E-01	3,40E-01	1,0102
19	-1,20E+00	-4,57E-02	-----	-----	4,50E-01	2,50E-01	1,0019
20	-1,19E+00	-3,45E-02	-----	-----	1,80E-01	3,00E-02	1,0019

Tabela B.12 : Dados das barras. Continuação.

Barra #	Multiplicador de Potência Ativa	Multiplicador de Potência Reativa	Pg [pu]	Qg [pu]	Pd [pu]	Qd [pu]	Tensão [pu]
21	-1,18E+00	-2,58E-02	-----	-----	1,40E-01	8,00E-02	1,0057
22	-1,15E+00	-1,19E-02	-----	-----	1,00E-01	5,00E-02	1,0191
23	-1,11E+00	1,53E-02	-----	-----	7,00E-02	3,00E-02	1,0500
24	-1,16E+00	-----	9,70E-01	5,63E-01	1,30E-01	0,00E+00	1,0606
25	-1,06E+00	-----	2,29E+00	-1,65E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,0557
26	-1,07E+00	-----	3,82E+00	1,46E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,1000
27	-1,09E+00	-----	1,48E+00	1,70E-01	7,10E-01	1,30E-01	1,0566
28	-1,11E+00	1,01E-03	-----	-----	1,70E-01	7,00E-02	1,0498
29	-1,11E+00	3,93E-03	-----	-----	2,40E-01	4,00E-02	1,0500
30	-1,15E+00	-3,62E-02	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,0450
31	-1,11E+00	-----	8,20E-01	3,09E-01	4,30E-01	2,70E-01	1,0528
32	-1,12E+00	1,95E-04	-----	-----	5,90E-01	2,30E-01	1,0486
33	-1,26E+00	-5,73E-02	-----	-----	2,30E-01	9,00E-02	0,9952
34	-1,30E+00	-5,99E-02	-----	-----	5,90E-01	2,60E-01	1,0028
35	-1,31E+00	-6,23E-02	-----	-----	3,30E-01	9,00E-02	0,9984
36	-1,31E+00	-6,27E-02	-----	-----	3,10E-01	1,70E-01	0,9976
37	-1,30E+00	-5,70E-02	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,0100
38	-1,28E+00	-6,01E-02	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,0172
39	-1,35E+00	-2,43E-02	-----	-----	2,70E-01	1,10E-01	1,0338
40	-1,36E+00	-----	9,10E-01	1,19E+00	6,60E-01	2,30E-01	1,0593
41	-1,38E+00	-1,61E-03	-----	-----	3,70E-01	1,00E-01	1,0500
42	-1,40E+00	-----	9,70E-01	1,49E-01	9,60E-01	2,30E-01	1,0497
43	-1,37E+00	-6,02E-02	-----	-----	1,80E-01	7,00E-02	0,9897
44	-1,42E+00	-3,99E-02	-----	-----	1,60E-01	8,00E-02	1,0001
45	-1,43E+00	-2,75E-02	-----	-----	5,30E-01	2,20E-01	1,0135
46	-1,38E+00	-----	1,45E+00	6,47E-02	2,80E-01	1,00E-01	1,0513
47	-1,42E+00	3,09E-02	-----	-----	3,40E-01	0,00E+00	1,0500
48	-1,42E+00	-3,64E-03	-----	-----	2,00E-01	1,10E-01	1,0431
49	-1,43E+00	-----	2,21E+00	2,92E-01	8,70E-01	3,00E-01	1,0481
50	-1,48E+00	-9,96E-03	-----	-----	1,70E-01	4,00E-02	1,0285
51	-1,56E+00	-1,96E-02	-----	-----	1,70E-01	8,00E-02	1,0031
52	-1,59E+00	-1,90E-02	-----	-----	1,80E-01	5,00E-02	0,9961
53	-1,62E+00	-1,19E-02	-----	-----	2,30E-01	1,10E-01	0,9969
54	-1,61E+00	-----	1,02E-01	9,63E-01	1,13E+00	3,20E-01	1,0147
55	-1,61E+00	-4,48E-03	-----	-----	6,30E-01	2,20E-01	1,0093
56	-1,61E+00	-3,23E-03	-----	-----	8,40E-01	1,80E-01	1,0112
57	-1,57E+00	-1,14E-02	-----	-----	1,20E-01	3,00E-02	1,0127
58	-1,59E+00	-1,40E-02	-----	-----	1,20E-01	3,00E-02	1,0036
59	-1,54E+00	-----	9,69E-02	1,60E+00	2,77E+00	1,13E+00	1,0432
60	-1,50E+00	2,90E-05	-----	-----	7,80E-01	3,00E-02	1,0500
61	-1,49E+00	-----	1,14E+00	3,72E-01	0,00E+00	0,00E+00	1,0537
62	-1,49E+00	-2,32E-03	-----	-----	7,70E-01	1,40E-01	1,0468
63	-1,51E+00	-1,10E-03	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,0447
64	-1,49E+00	-7,80E-04	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,0492
65	-1,45E+00	-----	2,52E+00	-3,68E-01	0,00E+00	0,00E+00	1,0482
66	-1,43E+00	-----	3,56E+00	4,91E-01	3,90E-01	1,80E-01	1,0591

Tabela B.12 : Dados das barras. Continuação.

Barra #	Multiplica dor de Potência Ativa	Multiplica dor de Potência Reativa	Pg [pu]	Qg [pu]	Pd [pu]	Qd [pu]	Tensão [pu]
67	-1,47E+00	-4,44E-03	-----	-----	2,80E-01	7,00E-02	1,0460
68	-1,47E+00	1,75E-02	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,0438
69	-1,44E+00	-----	3,24E+00	1,57E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,0705
70	-1,45E+00	-3,34E-02	-----	-----	6,60E-01	2,04E-01	1,0273
71	-1,42E+00	-1,34E-02	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,0500
72	-1,30E+00	-----	6,04E-08	6,54E-01	1,20E-01	0,00E+00	1,0843
73	-1,42E+00	-----	3,16E-08	6,05E-01	6,00E-02	0,00E+00	1,0753
74	-1,54E+00	-6,47E-02	-----	-----	6,80E-01	2,70E-01	0,9876
75	-1,54E+00	-6,06E-02	-----	-----	4,70E-01	1,10E-01	0,9958
76	-1,61E+00	-9,10E-02	-----	-----	6,80E-01	3,60E-01	0,9631
77	-1,57E+00	-5,70E-02	-----	-----	6,10E-01	2,80E-01	1,0199
78	-1,58E+00	-5,82E-02	-----	-----	7,10E-01	2,60E-01	1,0165
79	-1,57E+00	-5,47E-02	-----	-----	3,90E-01	3,20E-01	1,0207
80	-1,53E+00	-----	5,10E+00	2,00E+00	1,30E-01	2,60E-01	1,0604
81	-1,49E+00	5,36E-02	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,0500
82	-1,76E+00	-8,72E-02	-----	-----	5,40E-01	2,70E-01	0,9915
83	-1,81E+00	-8,03E-02	-----	-----	2,00E-01	1,00E-01	0,9905
84	-1,90E+00	-5,34E-02	-----	-----	1,10E-01	7,00E-02	0,9936
85	-1,92E+00	-3,06E-02	-----	-----	2,40E-01	1,50E-01	1,0034
86	-1,95E+00	-1,79E-02	-----	-----	2,10E-01	1,00E-01	1,0080
87	-1,95E+00	-----	7,70E-08	1,46E-01	0,00E+00	0,00E+00	1,0418
88	-1,94E+00	-1,48E-02	-----	-----	4,80E-01	1,00E-01	1,0258
89	-1,92E+00	-----	1,33E+00	7,76E-01	0,00E+00	0,00E+00	1,0535
90	-1,99E+00	-----	1,76E-01	4,02E-01	1,63E+00	4,20E-01	1,0377
91	-1,95E+00	-----	2,16E-01	3,42E-02	1,00E-01	0,00E+00	1,0445
92	-1,92E+00	-6,33E-03	-----	-----	6,50E-01	1,00E-01	1,0440
93	-1,89E+00	-3,12E-02	-----	-----	1,20E-01	7,00E-02	1,0319
94	-1,85E+00	-4,67E-02	-----	-----	3,00E-01	1,60E-01	1,0286
95	-1,82E+00	-7,32E-02	-----	-----	4,20E-01	3,10E-01	1,0090
96	-1,74E+00	-8,09E-02	-----	-----	3,80E-01	1,50E-01	1,0111
97	-1,64E+00	-6,84E-02	-----	-----	1,50E-01	9,00E-02	1,0244
98	-1,68E+00	-5,17E-02	-----	-----	3,40E-01	8,00E-02	1,0406
99	-1,80E+00	-----	2,62E-01	8,21E-01	4,20E-01	0,00E+00	1,0997
100	-1,88E+00	-----	3,21E-01	1,93E+00	3,70E-01	1,80E-01	1,0752
101	-1,90E+00	2,31E-02	-----	-----	2,20E-01	1,50E-01	1,0500
102	-1,92E+00	3,36E-03	-----	-----	5,00E-02	3,00E-02	1,0454
103	-1,96E+00	-----	1,52E-01	6,09E-01	2,30E-01	1,60E-01	1,0638
104	-2,00E+00	-2,39E-02	-----	-----	3,80E-01	2,50E-01	1,0352
105	-2,02E+00	-2,32E-02	-----	-----	3,10E-01	2,60E-01	1,0325
106	-2,02E+00	-2,21E-02	-----	-----	4,30E-01	1,60E-01	1,0326
107	-2,06E+00	-----	9,78E-02	3,08E-01	5,00E-01	1,20E-01	1,0425
108	-2,05E+00	-2,10E-02	-----	-----	2,00E-02	1,00E-02	1,0292
109	-2,06E+00	-1,99E-02	-----	-----	8,00E-02	3,00E-02	1,0282
110	-2,08E+00	-1,45E-02	-----	-----	3,90E-01	3,00E-01	1,0292
111	-2,07E+00	-----	1,67E-01	1,61E-01	0,00E+00	0,00E+00	1,0451
112	-2,15E+00	-----	1,78E-08	2,72E-01	6,80E-01	1,30E-01	1,0226

Tabela B.12 : Dados das barras. Continuação.

Barra #	Multiplicador de Potência Ativa	Multiplicador de Potência Reativa	P_g [pu]	Q_g [pu]	P_d [pu]	Q_d [pu]	Tensão [pu]
113	-1,15E+00	-----	1,20E-07	1,33E+00	6,00E-02	0,00E+00	1,0776
114	-1,11E+00	-1,31E-03	-----	-----	8,00E-02	3,00E-02	1,0472
115	-1,11E+00	-1,46E-03	-----	-----	2,20E-01	7,00E-02	1,0474
116	-1,47E+00	-----	1,10E-07	-2,00E+00	1,84E+00	0,00E+00	1,0358
117	-1,12E+00	-4,62E-03	-----	-----	2,00E-01	8,00E-02	1,0303
118	-1,58E+00	-8,03E-02	-----	-----	3,30E-01	1,50E-01	0,9734

Tabela B.13 : Distribuição das perdas

Barra #	% das perdas assumidas pela barra
54	3,484%
59	3,317%
89	45,575%
90	6,031%
91	7,399%
99	8,959%
100	10,982%
103	5,191%
107	3,347%
111	5,715%

Tabela B.14 : Dados das linhas.

Barras		Linhas		Shunt
from	To	r [pu]	x [pu]	b [pu]
1	2	3,03	9,99	2,54
1	3	1,29	4,24	1,08
4	5	0,176	0,8	0,21
3	5	2,41	10,8	2,84
5	6	1,19	5,4	1,43
6	7	0,459	2,08	0,55
8	9	0,244	3,05	116,2
5	8	0	2,67	0
9	10	0,258	3,22	123
4	11	2,09	6,88	1,75
5	11	2,03	6,82	1,74
11	12	0,595	1,96	0,5
2	12	1,87	6,16	1,57
3	12	4,84	16	4,06
7	12	0,862	3,4	0,87
11	13	2,225	7,31	1,88
12	14	2,15	7,07	1,82

Tabela B.14 : Dados das linhas. Continuação.

Barras		Linhas		Shunt
from	To	R [pu]	x [pu]	b [pu]
13	15	7,44	24,44	6,27
14	15	5,95	19,5	5,02
12	16	2,12	8,34	2,14
15	17	1,32	4,37	4,44
16	17	4,54	18,01	4,66
17	18	1,23	5,05	1,3
18	19	1,119	4,93	1,14
19	20	2,52	11,7	2,98
15	19	1,2	3,94	1,01
20	21	1,83	8,49	2,16
21	22	2,09	9,7	2,46
22	23	3,42	15,9	4,04
23	24	1,35	4,92	4,98
23	25	1,56	8	8,64
25	26	0	3,82	0
25	27	3,18	16,3	17,64
27	28	1,913	8,55	2,16
28	29	2,37	9,43	2,38
17	30	0	3,88	0
26	30	0,799	8,6	91,8
8	30	0,431	5,04	51,4
17	31	4,74	15,63	3,99
29	31	1,08	3,31	0,83
23	32	3,17	11,53	11,73
31	32	2,98	9,85	2,51
27	32	2,29	7,55	1,93
15	33	3,8	12,44	3,19
19	34	7,52	24,7	6,32
35	36	0,224	1,02	0,27
35	37	1,1	4,97	1,32
33	37	4,15	14,2	3,66
34	36	0,871	2,68	0,57
34	37	0,256	0,94	0,99
37	38	0	3,75	0
37	39	3,21	10,6	2,7
37	40	5,93	16,8	4,2
30	38	0,464	5,4	42,2
39	40	1,84	6,05	1,55
40	41	1,45	4,87	1,22
40	42	5,55	18,3	4,66
41	42	4,1	13,5	3,44
43	44	6,08	24,54	6,07
34	43	4,13	16,81	4,23
44	45	2,24	9,01	2,24
45	46	4	13,56	3,32
46	47	3,8	12,7	3,16
46	48	6,01	18,9	4,72
47	49	1,91	6,25	1,6

Tabela B.14 : Dados das linhas. Continuação.

Barras		Linhas		Shunt
<i>from</i>	<i>To</i>	<i>r [pu]</i>	<i>x [pu]</i>	<i>b [pu]</i>
42	49	3,58	16,1	17,2
45	49	6,84	18,6	4,44
48	49	1,79	5,05	1,26
49	50	2,67	7,52	1,87
49	51	4,86	13,7	3,42
51	52	2,03	5,88	1,4
52	53	4,05	16,35	4,06
53	54	2,63	12,2	3,11
49	54	9,85	32,4	8,28
54	55	1,69	7,07	2,02
54	56	0,275	0,96	0,73
55	56	0,488	1,51	0,37
56	57	3,43	9,66	2,42
50	57	4,74	13,4	3,32
56	58	3,43	9,66	2,42
51	58	2,55	7,19	1,79
54	59	5,03	22,93	5,98
56	59	4,07	12	11,04
55	59	4,739	21,58	5,65
59	60	3,17	14,5	3,76
59	61	3,28	15	3,88
60	61	0,264	1,35	1,46
60	62	1,23	5,61	1,47
61	62	0,824	3,76	0,98
59	63	0	3,86	0
63	64	0,172	2	21,6
61	64	0	2,68	0
38	65	0,901	9,86	114,6
64	65	0,269	3,02	38
49	66	0,9	4,59	4,96
62	66	4,82	21,8	5,78
62	67	2,58	11,7	3,1
65	66	0	3,7	0
66	67	2,24	10,15	2,68
65	68	0,138	1,6	63,8
47	69	8,44	27,78	7,09
49	69	9,85	32,4	8,28
68	69	0	3,7	0
69	70	3	12,7	12,2
24	70	10,22	41,15	10,2
70	71	0,882	3,55	0,88
24	72	4,88	19,6	4,88
71	72	4,46	18	4,44
71	73	0,866	4,54	1,18
70	74	4,01	13,23	3,37
70	75	4,28	14,1	3,6
69	75	4,05	12,2	12,4
74	75	1,23	4,06	1,03

Tabela B.14 : Dados das linhas. Continuação.

Barras		Linhas		Shunt
<i>from</i>	<i>To</i>	<i>r [pu]</i>	<i>x [pu]</i>	<i>b [pu]</i>
76	77	4,44	14,8	3,68
69	77	3,09	10,1	10,38
75	77	6,01	19,99	4,98
77	78	0,376	1,24	1,26
78	79	0,546	2,44	0,65
77	80	1,08	3,31	7
79	80	1,56	7,04	1,87
68	81	0,175	2,02	80,8
80	81	0	3,7	0
77	82	2,98	8,53	8,17
82	83	1,12	3,66	3,8
83	84	6,25	13,2	2,58
83	85	4,3	14,8	3,48
84	85	3,02	6,41	1,23
85	86	3,5	12,3	2,76
86	87	2,828	20,74	4,45
85	88	2	10,2	2,76
85	89	2,39	17,3	4,7
88	89	1,39	7,12	1,93
89	90	1,58	6,53	15,88
90	91	2,54	8,36	2,14
89	92	0,79	3,8	9,62
91	92	3,87	12,72	3,27
92	93	2,58	8,48	2,18
92	94	4,81	15,8	4,06
93	94	2,23	7,32	1,88
94	95	1,32	4,34	1,11
80	96	3,56	18,2	4,94
82	96	1,62	5,3	5,44
94	96	2,69	8,69	2,3
80	97	1,83	9,34	2,54
80	98	2,38	10,8	2,86
80	99	4,54	20,6	5,46
92	100	6,48	29,5	7,72
94	100	1,78	5,8	6,04
95	96	1,71	5,47	1,47
96	97	1,73	8,85	2,4
98	100	3,97	17,9	4,76
99	100	1,8	8,13	2,16
100	101	2,77	12,62	3,28
92	102	1,23	5,59	1,46
101	102	2,46	11,2	2,84
100	103	1,6	5,25	5,36
100	104	4,51	20,4	5,41
103	104	4,66	15,84	4,07
103	105	5,35	16,25	4,08
100	106	6,05	22,9	6,2
104	105	0,994	3,78	0,99

Tabela B.14 : Dados das linhas. Continuação.

Barras		Linhas		Shunt
<i>from</i>	<i>To</i>	<i>r [pu]</i>	<i>x [pu]</i>	<i>b [pu]</i>
105	106	1,4	5,47	1,43
105	107	5,3	18,3	4,72
105	108	2,61	7,03	1,84
106	107	5,3	18,3	4,72
108	109	1,05	2,88	0,76
103	110	3,906	18,13	4,61
109	110	2,78	7,62	2,02
110	111	2,2	7,55	2
110	112	2,47	6,4	6,2
17	113	0,913	3,01	0,77
32	113	6,15	20,3	5,18
32	114	1,35	6,12	1,63
27	115	1,64	7,41	1,97
114	115	0,23	1,04	0,28
68	116	0,034	0,4	16,4
12	117	3,29	14	3,58
75	118	1,45	4,81	1,2
76	118	1,64	5,44	1,36

Tabela B.15 : Variáveis no limite

<i>Pi Min</i>	<i>Pi Max</i>	<i>S Min</i>	<i>S Max</i>	<i>Limite</i>
-6,97E-01	1,04E-07	6,04E-08	4,00E-01	Pg barra 72
-1,33E+00	4,18E-08	3,16E-08	1,00E+00	Pg barra 73
-5,46E-01	2,78E-08	7,70E-08	1,50E+00	Pg barra 87
-2,35E+00	4,18E-08	1,78E-08	1,00E+00	Pg barra 112
-3,51E-01	4,18E-08	1,20E-07	1,00E+00	Pg barra 113
-3,82E-01	2,78E-08	1,10E-07	1,50E+00	Pg barra 116
-2,78E-07	8,38E-01	1,50E-01	4,96E-08	V barra 5
-2,78E-07	7,79E-01	1,50E-01	5,38E-08	V barra 9
-2,78E-07	1,11E+00	1,50E-01	3,64E-08	V barra 23
-2,09E-07	5,16E-01	2,00E-01	8,09E-08	V barra 26
-2,76E-07	1,05E-02	1,50E-01	1,60E-04	V barra 28
-2,78E-07	1,82E-01	1,50E-01	2,07E-07	V barra 29
-2,78E-07	2,88E-02	1,50E-01	1,45E-06	V barra 41
-2,78E-07	8,66E-01	1,50E-01	4,82E-08	V barra 47
-2,78E-07	7,56E-02	1,50E-01	2,82E-07	V barra 60
-2,80E-07	1,59E-04	1,49E-01	7,72E-04	V barra 64
-2,78E-07	2,39E-01	1,50E-01	1,85E-07	V barra 71
-2,78E-07	4,09E+00	1,50E-01	1,01E-08	V barra 81
-2,07E-07	4,44E-03	2,00E-01	3,55E-04	V barra 99
-2,78E-07	4,71E-01	1,50E-01	8,48E-08	V barra 101
-1,04E-08	3,21E-03	4,00E+00	1,30E-05	Qg barra 8
-1,04E-08	2,74E-02	4,00E+00	1,56E-06	Qg barra 80
-1,59E-02	1,04E-08	2,59E-06	4,00E+00	Qg barra 116

B.6 Sistema SSB de 352 Barras

Tabela B.16 : Dados das barras.

Barra #	Multiplicador de Potência Ativa	Multiplicador de Potência Reativa	Pg [pu]	Qg [pu]	Pd [pu]	Qd [pu]	Tensão [pu]
1	-2,79E+00	-6,46E-03	-----	-----	6,30E-02	3,20E-02	1,06047
2	-2,79E+00	-6,37E-03	-----	-----	8,70E-02	4,80E-02	1,06053
3	-2,83E+00	-1,04E-02	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,05582
4	-2,83E+00	-1,04E-02	-----	-----	3,40E-02	1,70E-02	1,05391
5	-2,82E+00	-6,87E-03	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,05784
6	-2,82E+00	-2,58E-02	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,05115
7	-2,82E+00	-2,60E-02	-----	-----	8,40E-02	7,20E-02	1,04667
8	-2,82E+00	-2,58E-02	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,05096
9	-2,83E+00	-3,00E-02	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,04871
10	-2,81E+00	-1,90E-02	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,05464
11	-2,79E+00	-5,56E-03	-----	-----	8,00E-02	4,50E-02	1,06107
12	-2,79E+00	-5,22E-03	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,06136
13	-2,79E+00	-3,87E-03	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,06162
14	-2,79E+00	-3,88E-03	-----	-----	1,20E-02	6,00E-03	1,06071
15	-2,79E+00	-2,60E-03	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,06241
16	-2,79E+00	-5,16E-03	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,06479
17	-2,80E+00	-7,65E-03	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,0626
18	-2,79E+00	-2,49E-03	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,06736
19	-2,79E+00	-5,26E-03	-----	-----	3,89E-01	1,90E-01	1,05772
20	-2,79E+00	-5,25E-03	-----	-----	3,80E-02	3,30E-02	1,0579
21	-2,79E+00	-2,50E-03	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,06739
22	-2,79E+00	-1,08E-03	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,06705
23	-2,79E+00	-2,51E-03	-----	-----	1,10E-01	5,30E-02	1,06534
24	-2,79E+00	-2,51E-03	-----	-----	9,00E-02	4,50E-02	1,06559
25	-2,79E+00	-1,09E-03	-----	-----	3,20E-02	2,80E-02	1,06424
26	-2,77E+00	-3,04E-05	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,06981
27	-2,79E+00	-7,48E-03	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,06418
28	-2,79E+00	-7,52E-03	-----	-----	7,60E-02	5,00E-02	1,06165
29	-2,79E+00	-5,42E-03	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,06534
30	-2,80E+00	-7,74E-03	-----	-----	3,60E-01	1,78E-01	1,05756
31	-2,80E+00	-9,37E-03	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,07088
32	-2,80E+00	-9,43E-03	-----	-----	1,10E-01	5,10E-02	1,06774
33	-2,79E+00	-2,09E-03	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,07499
34	-2,84E+00	-2,11E-02	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,05089
35	-2,84E+00	-2,13E-02	-----	-----	1,82E-01	1,10E-01	1,04586
36	-2,84E+00	-1,93E-02	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,05224
37	-2,81E+00	-1,41E-02	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,06751
38	-2,81E+00	-1,42E-02	-----	-----	7,00E-02	4,90E-02	1,0649
39	-2,81E+00	-1,42E-02	-----	-----	1,17E-01	8,00E-02	1,06537
40	-2,79E+00	-6,08E-03	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,07194
41	-2,83E+00	-1,61E-02	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,05515
42	-2,83E+00	-1,61E-02	-----	-----	4,40E-02	1,50E-02	1,05417
43	-2,83E+00	-1,59E-02	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,05482

Tabela B.16 : Dados das barras. Continuação.

Barra #	Multiplica dor de Potência Ativa	Multiplica dor de Potência Reativa	Pg [pu]	Qg [pu]	Pd [pu]	Qd [pu]	Tensão [pu]
44	-2,82E+00	-1,57E-02	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,0566
45	-2,80E+00	-3,54E-03	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,06589
46	-2,80E+00	-3,57E-03	-----	-----	1,36E-01	7,40E-02	1,06171
47	-2,80E+00	-3,54E-03	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,06589
48	-2,80E+00	-6,55E-03	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,06332
49	-2,80E+00	-3,83E-03	-----	-----	1,15E-01	3,00E-02	1,06556
50	-2,85E+00	-2,61E-02	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,04701
51	-2,85E+00	-2,63E-02	-----	-----	2,20E-02	1,80E-02	1,04423
52	-2,85E+00	-2,62E-02	-----	-----	1,60E-02	9,00E-03	1,04591
53	-2,85E+00	-2,62E-02	-----	-----	4,00E-02	1,80E-02	1,04517
54	-2,83E+00	-1,61E-02	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,0518
55	-2,86E+00	-3,02E-02	-----	-----	6,00E-03	3,00E-03	1,04196
56	-2,79E+00	-6,09E-03	-----	-----	3,90E-02	1,50E-02	1,07193
57	-2,80E+00	-9,55E-03	-----	-----	1,20E-02	4,00E-03	1,05958
58	-2,80E+00	-9,54E-03	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,05959
59	-2,80E+00	-7,44E-03	-----	-----	5,00E-03	2,00E-03	1,06132
60	-2,80E+00	-7,40E-03	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,06134
61	-2,83E+00	-1,39E-02	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,05259
62	-2,83E+00	-1,40E-02	-----	-----	2,13E-01	1,26E-01	1,04897
63	-2,83E+00	-1,39E-02	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,05259
64	-2,82E+00	-4,91E-03	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,05932
65	-2,82E+00	-6,68E-03	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,06106
66	-2,82E+00	-6,76E-03	-----	-----	1,73E-01	9,90E-02	1,05548
67	-2,82E+00	-4,77E-03	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,0626
68	-2,80E+00	-6,54E-03	-----	-----	1,00E-01	5,00E-02	1,06318
69	-2,80E+00	-6,53E-03	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,06319
70	-2,80E+00	-6,63E-03	-----	-----	2,60E-01	1,30E-01	1,06309
71	-2,83E+00	-1,47E-02	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,05188
72	-2,83E+00	-1,47E-02	-----	-----	1,11E-01	6,50E-02	1,04944
73	-2,83E+00	-1,49E-02	-----	-----	1,16E-01	6,10E-02	1,05178
74	-2,83E+00	-1,09E-02	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,0548
75	-2,78E+00	-9,56E-03	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,0626
76	-2,78E+00	-9,63E-03	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,06253
77	-2,78E+00	-1,01E-02	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,0621
78	-2,78E+00	-8,61E-03	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,06355
79	-2,77E+00	-9,69E-03	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,05536
80	-2,77E+00	-9,73E-03	-----	-----	1,38E-01	6,30E-02	1,05304
81	-2,77E+00	-9,71E-03	-----	-----	6,20E-02	3,30E-02	1,05417
82	-2,77E+00	-9,74E-03	-----	-----	7,50E-02	4,10E-02	1,05228
83	-2,77E+00	-8,31E-03	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,05679
84	-2,80E+00	-7,44E-03	-----	-----	1,30E-01	6,80E-02	1,05882
85	-2,80E+00	-7,43E-03	-----	-----	1,30E-01	5,20E-02	1,0594
86	-2,80E+00	-1,02E-02	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,05965
87	-2,79E+00	-2,56E-03	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,06547
88	-2,79E+00	-3,92E-03	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,06438

Tabela B.16 : Dados das barras. Continuação.

Barra #	Multiplica dor de Potência Ativa	Multiplica dor de Potência Reativa	Pg [pu]	Qg [pu]	Pd [pu]	Qd [pu]	Tensão [pu]
89	-2,79E+00	-3,95E-03	-----	-----	1,31E-01	9,00E-02	1,06102
90	-2,59E+00	-4,70E-04	-----	-----	9,00E-03	4,00E-03	1,0996
91	-2,59E+00	-----	1,10E+00	3,43E-01	0,00E+00	0,00E+00	1,1
92	-2,80E+00	-6,45E-03	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,06327
93	-2,79E+00	-5,53E-03	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,0653
94	-2,79E+00	-1,93E-03	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,06732
95	-2,80E+00	-1,07E-02	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,05181
96	-2,81E+00	-1,29E-02	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,05062
97	-2,80E+00	-1,04E-02	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,052
98	-2,80E+00	-1,09E-02	-----	-----	2,50E-02	1,20E-02	1,05869
99	-2,80E+00	-1,11E-02	-----	-----	3,50E-02	1,70E-02	1,05856
100	-2,79E+00	-4,01E-03	-----	-----	5,20E-02	2,60E-02	1,06453
101	-2,79E+00	-3,07E-03	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,06515
102	-2,83E+00	-3,02E-02	-----	-----	6,10E-02	3,90E-02	1,04478
103	-2,83E+00	-3,18E-02	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,04778
104	-2,81E+00	-1,30E-02	-----	-----	7,30E-02	4,00E-02	1,04696
105	-2,79E+00	-3,91E-03	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,06575
106	-2,79E+00	-4,98E-03	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,06505
107	-2,79E+00	-2,57E-03	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,06663
108	-2,79E+00	-3,92E-03	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,06574
109	-2,80E+00	-7,58E-03	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,06233
110	-2,80E+00	-7,73E-03	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,06221
111	-2,80E+00	-7,59E-03	-----	-----	7,00E-02	3,50E-02	1,06232
112	-2,79E+00	-5,63E-03	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,06396
113	-2,82E+00	-6,90E-03	-----	-----	4,70E-02	2,40E-02	1,05553
114	-2,82E+00	-6,86E-03	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,05784
115	-2,74E+00	-2,22E-03	-----	-----	9,00E-02	4,50E-02	1,07444
116	-2,80E+00	-9,57E-03	-----	-----	1,10E-01	4,30E-02	1,05797
117	-2,80E+00	-9,69E-03	-----	-----	2,40E-02	1,00E-02	1,05948
118	-2,85E+00	-2,69E-02	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,04519
119	-2,85E+00	-2,71E-02	-----	-----	1,58E-01	7,80E-02	1,04118
120	-2,84E+00	-1,94E-02	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,04987
121	-2,79E+00	-2,63E-03	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,06716
122	-2,79E+00	-2,66E-03	-----	-----	1,30E-01	7,20E-02	1,06303
123	-2,79E+00	-5,55E-03	-----	-----	2,20E-02	1,50E-02	1,06321
124	-2,80E+00	-8,05E-03	-----	-----	4,00E-02	2,00E-02	1,06003
125	-2,80E+00	-6,96E-03	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,0608
126	-2,80E+00	-8,79E-03	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,05952
127	-2,83E+00	-1,62E-02	-----	-----	1,55E-01	8,60E-02	1,04927
128	-2,79E+00	-5,08E-03	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,06582
129	-2,79E+00	-6,63E-03	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,06483
130	-2,75E+00	-1,14E-02	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,0679
131	-2,75E+00	-1,14E-02	-----	-----	1,05E-01	6,60E-02	1,0637
132	-2,75E+00	-1,14E-02	-----	-----	2,50E-02	1,20E-02	1,06667
133	-2,65E+00	-1,31E-02	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,08483

Tabela B.16 : Dados das barras. Continuação.

Barra #	Multiplica dor de Potência Ativa	Multiplica dor de Potência Reativa	Pg [pu]	Qg [pu]	Pd [pu]	Qd [pu]	Tensão [pu]
134	-2,79E+00	-6,54E-03	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,06302
135	-2,77E+00	-5,02E-03	-----	-----	4,50E-02	2,20E-02	1,06844
136	-2,80E+00	-1,03E-02	-----	-----	7,00E-02	4,00E-02	1,05606
137	-2,78E+00	-3,39E-03	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,0678
138	-2,78E+00	-3,39E-03	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,0678
139	-2,83E+00	-2,09E-02	-----	-----	8,20E-02	5,80E-02	1,0521
140	-2,83E+00	-2,02E-02	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,05248
141	-2,78E+00	-9,69E-03	-----	-----	1,55E-01	7,50E-02	1,05912
142	-2,78E+00	-9,72E-03	-----	-----	2,15E-01	1,01E-01	1,0579
143	-2,78E+00	-1,10E-02	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,06159
144	-2,78E+00	-1,11E-02	-----	-----	3,10E-02	2,50E-02	1,06019
145	-2,78E+00	-1,11E-02	-----	-----	3,80E-02	3,00E-02	1,05992
146	-2,78E+00	-3,41E-03	-----	-----	3,60E-02	3,40E-02	1,06568
147	-2,78E+00	-3,40E-03	-----	-----	3,60E-02	2,20E-02	1,06643
148	-2,78E+00	-4,06E-03	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,06735
149	-2,64E+00	-1,23E-02	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,0869
150	-2,77E+00	-3,60E-03	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,06882
151	-2,79E+00	-4,10E-03	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,06612
152	-2,79E+00	-4,12E-03	-----	-----	1,05E-01	6,00E-02	1,0638
153	-2,79E+00	-4,10E-03	-----	-----	3,50E-02	1,00E-02	1,06556
154	-2,79E+00	-6,14E-03	-----	-----	2,38E-01	1,50E-01	1,06733
155	-2,79E+00	-6,12E-03	-----	-----	8,20E-02	5,60E-02	1,06849
156	-2,80E+00	-9,34E-03	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,07008
157	-2,84E+00	-1,76E-02	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,0484
158	-2,84E+00	-1,77E-02	-----	-----	5,10E-02	3,40E-02	1,04662
159	-2,83E+00	-1,38E-02	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,05113
160	-2,79E+00	-5,00E-03	-----	-----	5,80E-02	2,90E-02	1,06295
161	-2,80E+00	-7,83E-03	-----	-----	2,02E-01	1,08E-01	1,05593
162	-2,78E+00	-1,48E-02	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,06241
163	-2,78E+00	-1,57E-02	-----	-----	8,40E-02	7,00E-02	1,06556
164	-2,78E+00	-1,49E-02	-----	-----	1,80E-01	9,20E-02	1,05897
165	-2,73E+00	-----	3,67E-01	1,33E-01	3,00E-03	1,00E-03	1,07802
166	-2,80E+00	-7,00E-03	-----	-----	6,00E-02	4,60E-02	1,05825
167	-2,80E+00	-7,00E-03	-----	-----	4,70E-02	3,00E-02	1,05793
168	-2,80E+00	-7,91E-03	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,06019
169	-2,80E+00	-1,11E-02	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,05713
170	-2,80E+00	-6,92E-03	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,06085
171	-2,80E+00	-8,84E-03	-----	-----	1,85E-01	1,06E-01	1,05733
172	-2,80E+00	-8,85E-03	-----	-----	1,52E-01	7,00E-02	1,05674
173	-2,80E+00	-8,00E-03	-----	-----	3,80E-01	1,90E-01	1,06025
174	-2,80E+00	-6,26E-03	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,06175
175	-2,80E+00	-6,25E-03	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,06171
176	-2,80E+00	-6,25E-03	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,06167
177	-2,80E+00	-6,28E-03	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,06178
178	-2,80E+00	-6,29E-03	-----	-----	1,20E-01	8,10E-02	1,05932

Tabela B.16 : Dados das barras. Continuação.

Barra #	Multiplica dor de Potência Ativa	Multiplica dor de Potência Reativa	Pg [pu]	Qg [pu]	Pd [pu]	Qd [pu]	Tensão [pu]
179	-2,80E+00	-6,28E-03	-----	-----	1,15E-01	6,00E-02	1,05993
180	-2,80E+00	-6,27E-03	-----	-----	1,42E-01	5,20E-02	1,06006
181	-2,80E+00	-7,95E-03	-----	-----	8,80E-02	3,60E-02	1,05777
182	-2,80E+00	-7,96E-03	-----	-----	1,28E-01	6,10E-02	1,05712
183	-2,78E+00	-4,08E-03	-----	-----	4,50E-02	2,30E-02	1,06543
184	-2,80E+00	-6,21E-03	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,06318
185	-2,80E+00	-6,26E-03	-----	-----	6,80E-02	3,70E-02	1,05954
186	-2,80E+00	-6,60E-03	-----	-----	1,00E-01	5,00E-02	1,05937
187	-2,80E+00	-6,60E-03	-----	-----	6,00E-02	2,80E-02	1,05962
188	-2,80E+00	-7,34E-03	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,06266
189	-2,80E+00	-7,35E-03	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,06265
190	-2,80E+00	-6,62E-03	-----	-----	3,80E-02	1,90E-02	1,05805
191	-2,81E+00	-1,90E-02	-----	-----	2,80E-02	1,40E-02	1,05267
192	-2,79E+00	-3,32E-03	-----	-----	1,00E-02	5,00E-03	1,06498
193	-2,83E+00	-2,02E-02	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,05401
194	-2,83E+00	-2,03E-02	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,05262
195	-2,83E+00	-2,03E-02	-----	-----	1,30E-02	9,00E-03	1,05036
196	-2,83E+00	-2,21E-02	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,05124
197	-2,78E+00	-7,40E-03	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,06438
198	-2,78E+00	-7,48E-03	-----	-----	1,17E-01	9,00E-02	1,05924
199	-2,78E+00	-7,20E-03	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,06453
200	-2,83E+00	-1,18E-02	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,05621
201	-2,83E+00	-1,19E-02	-----	-----	6,20E-02	4,30E-02	1,05383
202	-2,83E+00	-1,11E-02	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,05673
203	-2,85E+00	-2,15E-02	-----	-----	1,20E-01	3,00E-02	1,05065
204	-2,82E+00	-1,58E-02	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,05571
205	-2,80E+00	-1,16E-02	-----	-----	3,60E-02	2,30E-02	1,05673
206	-2,80E+00	-9,36E-03	-----	-----	3,90E-02	1,80E-02	1,06895
207	-2,80E+00	-9,35E-03	-----	-----	1,90E-02	9,00E-03	1,0692
208	-2,83E+00	-1,12E-02	-----	-----	1,10E-01	7,00E-02	1,05295
209	-2,83E+00	-1,16E-02	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,05636
210	-2,83E+00	-1,37E-02	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,05439
211	-2,82E+00	-8,13E-03	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,05643
212	-2,82E+00	-8,17E-03	-----	-----	4,80E-02	3,50E-02	1,05429
213	-2,79E+00	-3,22E-03	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,06649
214	-2,79E+00	-3,22E-03	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,06649
215	-2,83E+00	-2,21E-02	-----	-----	4,00E-03	3,00E-03	1,05053
216	-2,85E+00	-3,41E-02	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,04554
217	-2,79E+00	-6,80E-03	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,0628
218	-2,79E+00	-6,83E-03	-----	-----	8,80E-02	4,20E-02	1,06065
219	-2,79E+00	-6,69E-03	-----	-----	1,60E-01	9,60E-02	1,06099
220	-2,79E+00	-7,07E-03	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,06442
221	-2,80E+00	-7,39E-03	-----	-----	1,07E-01	5,80E-02	1,05938
222	-2,78E+00	-8,71E-03	-----	-----	1,40E-01	1,20E-01	1,0576
223	-2,78E+00	-8,68E-03	-----	-----	1,30E-01	1,00E-01	1,05952
224	-2,77E+00	-8,37E-03	-----	-----	4,00E-02	3,00E-02	1,05367

Tabela B.16 : Dados das barras. Continuação.

Barra #	Multiplica dor de Potência Ativa	Multiplica dor de Potência Reativa	Pg [pu]	Qg [pu]	Pd [pu]	Qd [pu]	Tensão [pu]
225	-2,77E+00	-1,94E-05	-----	-----	4,14E-01	1,71E-01	1,07446
226	-2,77E+00	-----	4,76E-01	4,03E-01	0,00E+00	0,00E+00	1,0745
227	-2,80E+00	-7,43E-03	-----	-----	1,16E-01	6,50E-02	1,05709
228	-2,80E+00	-7,40E-03	-----	-----	1,42E-01	9,00E-02	1,059
229	-2,85E+00	-3,43E-02	-----	-----	1,02E-01	5,80E-02	1,04201
230	-2,80E+00	-1,12E-02	-----	-----	6,40E-02	3,60E-02	1,05588
231	-2,81E+00	-1,00E-02	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,06201
232	-2,81E+00	-1,02E-02	-----	-----	6,00E-02	4,50E-02	1,05568
233	-2,78E+00	-4,30E-05	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,07092
234	-2,83E+00	-1,16E-02	-----	-----	3,10E-02	1,80E-02	1,05472
235	-2,83E+00	-1,40E-02	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,05103
236	-2,83E+00	-1,41E-02	-----	-----	7,40E-02	5,80E-02	1,04754
237	-2,83E+00	-1,41E-02	-----	-----	2,20E-02	1,90E-02	1,04899
238	-2,83E+00	-1,38E-02	-----	-----	7,60E-02	3,70E-02	1,05191
239	-2,83E+00	-1,09E-02	-----	-----	6,90E-02	4,60E-02	1,05231
240	-2,79E+00	-3,09E-03	-----	-----	5,60E-02	3,20E-02	1,06289
241	-2,79E+00	-5,18E-03	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,0638
242	-2,83E+00	-3,19E-02	-----	-----	5,50E-02	4,00E-02	1,04533
243	-2,78E+00	-6,45E-03	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,06446
244	-2,78E+00	-6,47E-03	-----	-----	6,40E-02	4,50E-02	1,06263
245	-2,78E+00	-6,49E-03	-----	-----	1,14E-01	8,00E-02	1,06128
246	-2,78E+00	-6,43E-03	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,06448
247	-2,64E+00	-1,24E-02	-----	-----	2,87E-01	1,92E-01	1,08278
248	-2,78E+00	-1,02E-02	-----	-----	1,51E-01	9,60E-02	1,05828
249	-2,78E+00	-1,01E-02	-----	-----	1,15E-01	7,20E-02	1,05924
250	-2,79E+00	-7,12E-03	-----	-----	7,50E-02	5,50E-02	1,06135
251	-2,78E+00	-7,36E-04	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,068
252	-2,79E+00	-2,58E-03	-----	-----	9,40E-02	6,30E-02	1,0642
253	-2,79E+00	-2,59E-03	-----	-----	1,16E-01	8,40E-02	1,06316
254	-2,79E+00	-3,93E-03	-----	-----	1,80E-02	1,00E-02	1,06515
255	-2,86E+00	-3,30E-02	-----	-----	1,20E-02	7,00E-03	1,0404
256	-2,79E+00	-5,20E-03	-----	-----	9,50E-02	5,00E-02	1,06193
257	-2,52E+00	-----	1,34E+00	-4,59E-02	1,00E-03	1,00E-03	1,1
258	-2,59E+00	2,18E-03	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,08552
259	-2,45E+00	-2,81E-02	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,1
260	-2,45E+00	-2,81E-02	-----	-----	5,00E-03	2,00E-03	1,09963
261	-2,44E+00	-----	1,86E+00	2,06E-01	0,00E+00	0,00E+00	1,1
262	-2,45E+00	-----	1,29E+00	9,81E-02	0,00E+00	0,00E+00	1,1
263	-2,82E+00	-1,58E-02	-----	-----	7,40E-02	4,30E-02	1,05399
264	-2,82E+00	-1,59E-02	-----	-----	1,90E-01	1,07E-01	1,05051
265	-2,84E+00	-1,94E-02	-----	-----	2,10E-01	1,10E-01	1,0491
266	-2,82E+00	-4,82E-03	-----	-----	1,28E-01	9,40E-02	1,05746
267	-2,82E+00	-4,93E-03	-----	-----	2,60E-02	1,60E-02	1,05767
268	-2,79E+00	-1,39E-05	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,0756
269	-2,79E+00	-----	3,94E-01	2,89E-01	0,00E+00	0,00E+00	1,07649
270	-2,79E+00	-----	4,90E-01	2,89E-01	0,00E+00	0,00E+00	1,07649

Tabela B.16 : Dados das barras. Continuação.

Barra #	Multiplicador de Potência Ativa	Multiplicador de Potência Reativa	Pg [pu]	Qg [pu]	Pd [pu]	Qd [pu]	Tensão [pu]
271	-2,79E+00	-----	1,09E+00	2,92E-01	5,70E-02	0,00E+00	1,0765
272	-2,79E+00	-----	1,33E+00	2,93E-01	5,70E-02	0,00E+00	1,07648
273	-2,76E+00	-1,19E-05	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,07878
274	-2,76E+00	-----	8,97E-01	2,66E-01	0,00E+00	0,00E+00	1,08338
275	-2,76E+00	-----	1,21E+00	2,77E-01	0,00E+00	0,00E+00	1,0835
276	-2,76E+00	-----	2,09E+00	3,25E-01	0,00E+00	0,00E+00	1,08394
277	-2,76E+00	-----	2,47E+00	3,54E-01	0,00E+00	0,00E+00	1,08423
278	-2,79E+00	-3,13E-03	-----	-----	1,32E+00	5,00E-01	1,07046
279	-2,78E+00	-3,36E-03	-----	-----	1,09E+00	6,10E-01	1,07113
280	-2,79E+00	-1,78E-03	-----	-----	1,83E+00	6,70E-01	1,07133
281	-2,80E+00	-2,27E-03	-----	-----	2,70E-01	1,00E-01	1,07048
282	-2,76E+00	-5,98E-05	-----	-----	5,20E-01	1,30E-01	1,07862
283	-2,78E+00	-1,73E-03	-----	-----	1,10E-01	1,80E-01	1,07319
284	-2,79E+00	-1,71E-03	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,07141
285	-2,79E+00	-7,03E-05	-----	-----	5,30E-02	0,00E+00	1,07546
286	-2,80E+00	-1,87E-03	-----	-----	7,00E-01	2,00E-02	1,07077
287	-2,80E+00	-9,00E-04	-----	-----	6,60E-01	-4,00E-02	1,07114
288	-2,79E+00	2,15E-05	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,07489
289	-2,79E+00	-2,62E-03	-----	-----	2,00E-01	1,00E-01	1,06995
290	-2,79E+00	-2,61E-03	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,06997
291	-2,81E+00	-6,90E-04	-----	-----	2,50E+00	2,20E-01	1,06992
292	-2,80E+00	-1,72E-05	-----	-----	1,30E-02	0,00E+00	1,07211
293	-2,81E+00	-1,77E-03	-----	-----	2,00E-01	-2,00E-02	1,06939
294	-2,81E+00	-1,77E-03	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,06939
295	-2,79E+00	-3,92E-07	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,07571
296	-2,79E+00	-----	3,94E-01	8,28E-03	4,30E-02	0,00E+00	1,07572
297	-2,80E+00	-1,62E-03	-----	-----	8,70E-01	5,60E-01	1,07024
298	-2,80E+00	-7,33E-04	-----	-----	6,50E-01	2,50E-01	1,07214
299	-2,80E+00	-1,61E-03	-----	-----	1,60E-01	-2,80E-01	1,07028
300	-2,81E+00	-8,22E-04	-----	-----	6,10E-01	5,00E-02	1,07108
301	-2,79E+00	-2,54E-05	-----	-----	8,30E-01	1,00E-02	1,07477
302	-2,80E+00	8,07E-04	-----	-----	1,40E+00	-4,20E-01	1,07514
303	-2,80E+00	-8,59E-04	-----	-----	4,50E-01	1,50E-01	1,07097
304	-2,79E+00	-----	1,37E+00	5,07E-01	2,50E-02	1,20E-02	1,08219
305	-2,78E+00	-----	5,34E-01	9,14E-01	2,50E-02	1,30E-02	1,08533
306	-2,78E+00	-3,40E-05	-----	-----	1,30E-02	0,00E+00	1,07275
307	-2,78E+00	-----	1,01E+00	7,37E-01	3,30E-02	1,60E-02	1,08221
308	-2,78E+00	-4,23E-05	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,07275
309	-2,78E+00	-----	1,83E+00	9,43E-01	8,00E-02	4,00E-02	1,08011
310	-2,81E+00	-5,33E-04	-----	-----	1,20E-01	-1,00E-01	1,07055
311	-2,81E+00	-----	9,29E-01	5,53E-01	0,00E+00	0,00E+00	1,07543
312	-2,81E+00	-----	5,01E-01	5,48E-01	0,00E+00	0,00E+00	1,07538
313	-2,80E+00	-----	4,02E-01	3,53E-01	9,00E-03	0,00E+00	1,07287
314	-2,80E+00	-----	1,56E+00	3,60E-01	6,00E-03	0,00E+00	1,07328
315	-2,79E+00	-----	1,83E+00	-1,17E-01	6,00E-03	0,00E+00	1,07548
316	-2,79E+00	1,87E-05	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,07594

Tabela B.16 : Dados das barras. Continuação.

Barra #	Multiplicador de Potência Ativa	Multiplicador de Potência Reativa	Pg [pu]	Qg [pu]	Pd [pu]	Qd [pu]	Tensão [pu]
317	-2,79E+00	-----	1,39E+00	-1,22E-01	6,00E-03	0,00E+00	1,07546
318	-2,79E+00	-----	8,14E-01	-1,28E-01	6,00E-03	0,00E+00	1,07541
319	-2,79E+00	1,88E-05	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,0759
320	-2,79E+00	-----	4,08E-01	-1,29E-01	4,90E-02	0,00E+00	1,07539
321	-2,79E+00	3,66E-04	-----	-----	2,50E-02	0,00E+00	1,07649
322	-2,79E+00	-1,48E-03	-----	-----	4,40E-02	0,00E+00	1,07236
323	-2,79E+00	-----	2,00E+00	-1,91E-01	3,10E-02	0,00E+00	1,07554
324	-2,79E+00	6,03E-05	-----	-----	5,00E-01	-3,00E-02	1,07504
325	-2,79E+00	-2,42E-03	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,0692
326	-2,79E+00	-2,23E-03	-----	-----	1,60E-02	0,00E+00	1,07061
327	-2,79E+00	-4,23E-03	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,06753
328	-2,78E+00	-5,05E-03	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,06796
329	-2,79E+00	-2,38E-03	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,06738
330	-2,79E+00	-3,63E-03	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,06804
331	-2,80E+00	-1,09E-03	-----	-----	3,90E-01	1,60E-01	1,06906
332	-2,80E+00	-3,31E-03	-----	-----	1,90E-01	1,10E-01	1,06761
333	-2,79E+00	4,09E-04	-----	-----	1,26E+00	4,60E-01	1,07645
334	-2,79E+00	4,05E-04	-----	-----	3,00E-02	0,00E+00	1,07663
335	-2,81E+00	-3,41E-03	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,06626
336	-2,81E+00	-3,47E-03	-----	-----	3,30E-01	2,10E-01	1,06724
337	-2,79E+00	-1,86E-03	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,07032
338	-2,81E+00	-3,49E-03	-----	-----	6,20E-01	2,50E-01	1,06626
339	-2,81E+00	-3,41E-03	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,06626
340	-2,79E+00	-1,83E-03	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,07481
341	-2,79E+00	-1,79E-03	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,07465
342	-2,78E+00	-----	6,46E-01	6,55E-01	5,00E-03	2,00E-03	1,08411
343	-2,79E+00	-----	3,93E-01	6,63E-01	5,00E-03	2,00E-03	1,08495
344	-2,79E+00	4,39E-05	-----	-----	4,70E-02	0,00E+00	1,0759
345	-2,79E+00	-3,49E-06	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,07506
346	-2,81E+00	-6,45E-04	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,07001
347	-2,81E+00	-3,66E-03	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,0669
348	-2,81E+00	-9,09E-04	-----	-----	3,20E-01	1,10E-01	1,06993
349	-2,81E+00	-6,51E-04	-----	-----	5,00E-03	2,00E-03	1,06999
350	-2,81E+00	1,10E-04	-----	-----	1,70E-01	-2,00E-02	1,07277
351	-2,82E+00	-4,24E-03	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,06244
352	-2,82E+00	-4,24E-03	-----	-----	0,00E+00	0,00E+00	1,06244

Tabela B.17 : Distribuição das Perdas.

Barra #	% das perdas assumidas pela barra
165	17,6465%
269	2,1733%
296	2,9334%
313	20,7936%
343	56,4532%

Tabela B.18 : Dados das linhas.

Barras		Linhas		Shunt
<i>from</i>	<i>To</i>	<i>r [pu]</i>	<i>x [pu]</i>	<i>b [pu]</i>
1	2	0,055	0,1	20
3	4	0,001	11,8	0
3	5	4,084	4,37	520
6	7	0,001	6,5	0
6	8	0,001	0,26	0
8	9	1,009	1,49	210
6	10	0,864	1,27	180
11	12	0,154	0,39	60
13	14	0,001	16,08	0
13	15	4,324	5,39	150
16	12	0,001	1,03	0
16	17	0,275	0,74	1680
16	18	0,1	0,32	3560
12	19	0,001	2,01	0
12	20	0,001	11,07	0
12	2	0,289	0,55	100
21	22	0,001	0,52	0
21	23	0,001	4,11	0
21	24	0,001	4,25	0
21	18	0,004	0,01	160
22	25	0,001	10,63	0
22	26	0,225	0,54	380
27	28	0,001	5,35	0
27	29	0,827	1,22	170
17	30	0,001	2,96	0
31	32	0,001	6,54	0
31	33	2,881	2,38	310
34	35	0,001	4,75	0
34	36	0,31	0,77	2060
37	38	0,001	5,65	0
37	39	0,001	2,84	0
37	40	1,252	1,84	270
41	42	0,001	6,86	0
41	43	0,414	1,02	2770
41	44	0,994	2,46	6640
45	46	0,001	5,95	0
45	47	0,001	6,73	0
45	48	0,325	0,8	8680
45	49	0,199	0,41	1020
50	51	0,001	10,31	0
50	52	0,001	12,72	0
50	53	0,001	10,64	0
50	54	3,473	3,05	350
51	55	7,347	10,5	25
56	40	0,015	0,01	5
57	58	0,046	0,07	10
59	60	0,333	0,49	70
61	62	0,001	3	0
61	63	0,001	3,85	0

Tabela B.18 : Dados das linhas. Continuação.

Barras		Linhas		Shunt
<i>from</i>	<i>to</i>	<i>r [pu]</i>	<i>x [pu]</i>	<i>b [pu]</i>
61	64	1,357	3,28	580
65	66	0,001	5,9	0
65	67	0,38	0,98	2430
68	69	0,004	0,01	40
70	69	0,016	0,05	160
71	72	0,001	3,92	0
71	73	0,058	0,05	10
71	74	0,58	1,39	1000
75	76	0,007	0,03	2960
75	77	0,047	0,17	8630
75	78	0,049	0,17	470
79	80	0,001	3,85	0
79	81	0,001	3,78	0
79	82	0,001	7,87	0
79	83	0,196	0,7	120
60	84	0,001	3,91	0
60	85	0,001	3,94	0
60	58	0,164	0,45	340
60	86	0,677	1	140
60	87	0,207	0,57	440
88	89	0,001	3,95	0
88	87	0,304	0,84	160
90	91	3,016	4,64	610
69	92	0,009	0,03	90
29	93	0,146	0,11	20
29	94	1,082	1,6	230
95	96	1,045	1,21	30
95	97	0,152	0,22	10
98	58	0,928	1,37	200
98	99	0,232	0,34	50
100	101	0,735	1,08	160
9	102	0,001	10,49	0
9	103	0,85	1,25	180
96	104	0,001	9,51	0
105	106	0,738	1,09	160
105	107	0,699	1,03	150
105	108	0,023	0,03	50
109	110	0,027	0,07	170
109	111	0,006	0,01	40
109	112	0,269	0,69	1720
5	113	0,001	10,12	0
5	114	1,402	1,52	180
5	64	0,95	1,96	300
115	26	0,475	0,76	90
115	91	2,152	3,34	430
58	116	0,001	3,96	0
58	10	1,099	1,62	230
58	117	0,294	0,43	60
118	119	0,001	5,31	0
118	120	1,778	2,62	380

Tabela B.18 : Dados das linhas. Continuação.

Barras		Linhas		Shunt
from	to	r [pu]	x [pu]	b [pu]
121	122	0,001	6,05	0
93	123	0,001	14,74	0
124	125	0,199	0,48	90
124	126	0,166	0,4	70
43	54	0,001	2,22	0
43	44	1,403	3,47	9380
43	36	0,211	0,52	5580
43	67	0,5	1,23	13340
54	127	0,001	3,08	0
128	129	0,121	0,44	1110
128	18	0,206	0,71	7980
130	131	0,001	6,74	0
130	132	0,001	10,91	0
130	133	3,139	4,45	700
130	134	1,538	2,21	340
130	135	2,792	3,96	620
86	136	0,001	4,64	0
97	136	0,001	10,44	0
137	138	0,016	0,03	80
139	140	0,234	0,36	50
76	141	0,001	4,77	0
76	142	0,001	4,8	0
143	144	0,001	5,95	0
143	145	0,001	5,88	0
143	77	0,351	0,55	1120
138	146	0,001	6,64	0
138	147	0,001	6,66	0
138	148	0,607	0,94	1120
133	149	0,392	0,93	170
150	26	1,082	1,56	240
150	135	0,426	0,6	90
151	152	0,001	4,09	0
151	153	0,001	5,97	0
40	154	0,001	3,26	0
40	155	0,001	6,57	0
40	156	2,465	2,08	260
40	33	0,213	0,52	360
157	158	0,001	5,48	0
157	159	2,163	5,21	920
106	160	0,001	7,65	0
110	161	0,001	6,07	0
162	163	0,001	6,02	0
162	164	0,001	3,93	0
162	125	3,588	4,44	620
163	165	2,55	3,17	180
166	125	0,001	5,86	0
125	167	0,001	10,11	0
125	168	0,193	0,24	30
125	169	1,403	4,23	690
125	170	0,002	0,01	2

Tabela B.18 : Dados das linhas. Continuação.

Barras		Linhas		Shunt
<i>from</i>	<i>to</i>	<i>r [pu]</i>	<i>x [pu]</i>	<i>B [pu]</i>
126	171	0,001	2,17	0
126	172	0,001	4,17	0
126	173	0,177	0,43	80
92	174	0,001	1,04	0
92	175	0,001	1,07	0
92	176	0,001	0,93	0
92	112	0,025	0,06	680
177	174	0,001	-0,05	0
178	174	0,001	3,17	0
177	175	0,001	-0,08	0
179	175	0,001	3,14	0
177	176	0,001	-0,09	0
180	176	0,001	3,26	0
177	173	0,124	0,31	200
168	181	0,001	7,06	0
168	182	0,001	5,29	0
148	183	0,001	8,85	0
184	185	0,001	10,37	0
184	101	1,694	2,5	360
48	186	0,001	8,3	0
48	187	0,001	8,25	0
48	188	0,27	0,67	1800
48	189	0,441	1,09	2940
190	187	0,001	8,74	0
10	191	0,001	14,76	0
192	101	1,051	1,55	220
193	140	0,001	2,4	0
193	194	0,001	2,4	0
193	44	0,667	1,08	2030
140	195	0,001	24,72	0
194	196	0,555	1,4	920
197	198	0,001	6,02	0
197	199	0,045	0,12	290
200	201	0,001	5,82	0
200	202	0,324	0,83	2090
203	204	3,631	3,19	370
205	169	0,398	1,2	200
156	206	0,001	6,68	0
156	207	0,001	10,4	0
202	208	0,001	5,66	0
202	209	0,541	1,38	3500
202	210	0,339	1,16	3280
202	67	0,456	1,57	4420
211	212	0,001	6,46	0
211	64	1,826	6,26	1110
213	214	0,001	5,95	0
196	215	0,001	24,76	0
196	216	3,883	3,41	390
217	218	0,001	5,41	0
217	134	0,126	0,28	40

Tabela B.18 : Dados das linhas. Continuação.

Barras		Linhas		Shunt
<i>from</i>	<i>To</i>	<i>r [pu]</i>	<i>x [pu]</i>	<i>b [pu]</i>
129	134	0,001	1,6	0
129	219	0,001	4,22	0
129	220	0,163	0,58	1520
188	221	0,001	5,97	0
188	189	0,171	0,42	1140
78	222	0,001	5,22	0
78	223	0,001	4,26	0
83	224	0,001	10,91	0
26	225	0,001	2,15	0
225	226	0,001	0,01	1
189	227	0,001	8,97	0
189	228	0,001	4,28	0
189	112	0,302	0,75	8060
216	229	0,001	6,3	0
169	230	0,001	3,65	0
231	232	0,001	14,77	0
231	44	0,72	1,78	4800
231	233	0,979	2,42	6540
209	234	0,001	9,6	0
235	236	0,001	6,3	0
235	237	0,001	11,29	0
235	159	0,041	0,08	10
210	159	0,001	3,08	0
210	238	0,001	7,03	0
74	239	0,001	5,68	0
74	64	0,672	1,61	1160
101	240	0,001	7,47	0
101	241	0,845	1,25	180
101	87	0,069	0,1	60
103	242	0,001	6,4	0
243	244	0,001	4,3	0
243	245	0,001	4,2	0
243	246	0,003	0,01	20
149	247	0,001	2,31	0
149	91	1,037	2,63	420
77	248	0,001	4,19	0
77	249	0,001	4,2	0
220	250	0,001	5,91	0
94	251	0,373	0,55	80
107	252	0,001	4,08	0
107	253	0,001	4,08	0
107	251	0,193	0,46	80
15	253	0,001	13,7	0
108	254	0,001	6,3	0
55	255	7,347	10,5	25
241	256	0,001	3,97	0
257	258	1,278	1,88	10
259	260	0,001	20,12	0
259	261	0,001	14,25	0
259	262	0,001	14,3	0

Tabela B.18 : Dados das linhas. Continuação.

Barras		Linhas		Shunt
<i>from</i>	<i>to</i>	<i>r [pu]</i>	<i>x [pu]</i>	<i>b [pu]</i>
259	83	2,187	4,2	750
91	258	0,001	10,43	0
44	204	0,001	3,1	0
44	263	0,001	6,37	0
44	264	0,001	5,92	0
44	233	1,899	4,27	11190
36	120	0,001	3,1	0
36	265	0,001	2,97	0
67	64	0,001	0,88	0
67	266	0,001	5,75	0
64	267	0,001	10,89	0
268	269	0,001	0,33	0
268	270	0,001	0,33	0
268	271	0,001	0,33	0
268	272	0,001	0,32	0
273	274	0,001	1,92	0
273	275	0,001	1,93	0
273	276	0,001	1,93	0
273	277	0,001	1,94	0
278	279	0,035	0,17	3060
278	280	0,051	0,26	4540
278	281	0,179	0,92	16100
282	273	0,001	0,01	13520
282	279	0,126	0,64	11200
282	283	0,145	0,74	12930
283	280	0,069	0,34	6470
280	284	0,001	0,01	0
268	285	0,001	0,01	30590
286	281	0,042	0,21	3820
286	287	0,259	1,35	22610
286	288	0,344	1,78	30650
289	290	0,001	0,01	0
291	292	0,061	0,38	27620
293	294	0,001	0,01	0
295	296	0,001	0,14	0
297	298	0,11	0,57	9790
297	299	0,001	0,01	0
298	287	0,218	1,13	19050
298	300	0,217	1,12	19330
298	301	0,034	0,41	13160
302	301	0,041	0,23	7390
303	304	0,039	2,44	0
233	305	0,001	1,74	0
306	307	0,001	1,43	0
308	309	0,001	0,89	0
310	311	0,02	0,92	0
310	312	0,02	0,93	0
292	313	0,001	0,23	0
292	314	0,001	0,35	0
315	316	0,003	0,44	0

Tabela B.18 : Dados das linhas. Continuação.

Barras		Linhas		Shunt
from	to	r [pu]	x [pu]	b [pu]
317	316	0,003	0,44	0
318	319	0,003	0,43	0
320	319	0,003	0,43	0
288	285	0,003	0,12	0
285	321	0,016	0,2	250170
285	322	0,011	0,14	697230
285	323	0,016	0,2	45770
285	295	0,005	0,06	80493
288	324	0,029	1,06	0
288	292	0,152	0,79	54212
288	290	0,246	1,27	21706
325	326	0,003	0,12	0
326	322	0,013	0,16	195900
18	121	0,29	0,8	2140
18	325	0,014	0,21	0
325	308	0,374	1,94	32277
325	327	0,064	0,33	22732
325	328	0,253	1,31	22551
18	329	0,406	1,05	2580
45	330	0,033	0,62	0
330	290	0,091	0,47	8077
303	331	0,029	1,2	0
303	332	0,337	1,25	22840
300	299	0,151	0,78	13486
300	292	0,172	0,89	61160
321	333	0,024	0,31	377740
321	334	0,01	0,12	150458
284	322	0,002	0,06	0
284	327	0,095	0,49	33874
284	290	0,221	1,15	19687
332	335	0,015	1,09	0
332	336	0,122	0,62	10984
332	310	0,46	2,38	40945
332	337	0,385	1,99	34319
332	338	0,029	1,1	0
339	335	0,047	1,11	0
338	335	0,014	-0,03	0
78	151	0,593	2,14	5410
78	83	0,049	0,99	0
78	199	0,029	0,12	1300
78	246	0,246	1,05	2500
333	334	0,032	0,4	485720
329	121	0,081	0,26	680
329	151	0,157	0,57	1440
329	213	0,163	0,62	1890
329	340	0,032	1,82	0
329	341	0,032	1,83	0
329	112	0,461	1,87	5090
329	246	0,269	1,18	2740
33	340	0,027	-0,16	0

Tabela B.18 : Dados das linhas. Continuação.

Barras		Linhas		Shunt
<i>from</i>	<i>to</i>	<i>r [pu]</i>	<i>x [pu]</i>	<i>b [pu]</i>
33	341	0,028	-0,19	0
342	340	0,059	1,49	0
343	341	0,057	1,66	0
334	344	0,017	0,22	265160
323	345	0,011	0,14	170340
323	344	0,015	0,19	236970
233	138	0,278	1,13	3060
233	306	0,042	0,59	0
306	308	0,001	0,01	128
306	328	0,228	1,18	20312
233	251	0,052	1,12	0
233	199	0,66	2,68	7280
308	337	0,046	0,24	16327
112	213	0,452	1,79	4880
112	327	0,021	0,32	0
112	170	0,028	0,86	0
301	345	0,004	0,12	0
336	310	0,374	1,9	33747
199	138	0,45	1,83	4970
199	328	0,063	0,62	0
310	346	0,02	0,46	0
310	347	0,075	0,39	26787
348	346	0,049	-0,06	0
349	346	0,067	1,11	0
292	350	0,139	4,89	0
292	294	0,163	0,83	14643
292	347	0,307	1,59	27375
294	347	0,151	0,77	13568
337	87	0,015	0,7	0
344	295	0,005	0,07	85746
344	316	0,002	0,01	0
344	319	0,002	0,01	0
67	347	0,019	0,41	0
67	351	0,037	-0,1	0
347	351	0,014	1,45	0
352	351	0,06	2,25	0

Tabela B.19 : Variáveis no limite

Variáveis no limite				
<i>Pi Min</i>	<i>Pi Max</i>	<i>S Min</i>	<i>S Max</i>	<i>Limite</i>
-1,30E-08	6,48E-06	2,00E-01	4,00E-04	V barra 90
-1,30E-08	6,58E-01	2,00E-01	3,94E-09	V barra 91
-1,30E-08	1,12E-01	2,00E-01	2,32E-08	V barra 257
-1,30E-08	7,70E-01	2,00E-01	3,35E-09	V barra 259
-1,30E-08	7,08E-06	2,00E-01	3,66E-04	V barra 260
-1,30E-08	2,22E-01	2,00E-01	1,17E-08	V barra 261
-1,30E-08	2,18E-01	2,00E-01	1,19E-08	V barra 262

Anexo C

Variáveis no limite e multiplicadores associados para os casos apresentados no Capítulo 4.6

Sistema IEEE 118

Caso: Stress de Potência Reativa = 1,0

Algoritmo Convencional

Tabela C.1 : Resultados do FPO.

Custo	Perdas
28932,04490	2853,55448

Tabela C.2 : Variáveis no limite.

π Mínimo	π Máximo	Variáveis de Folga Mínima	Variáveis de Folga Máxima	Limite atingido
-,66059E+00	,10174E-06	,62002E-07	,40000E+00	Pg barra 72
-,12852E+01	,40696E-07	,31765E-07	,10000E+01	Pg barra 73
-,50074E+00	,27130E-07	,81771E-07	,15000E+01	Pg barra 87
-,22973E+01	,40696E-07	,17753E-07	,10000E+01	Pg barra 112
-,31807E+00	,40695E-07	,12857E-06	,10000E+01	Pg barra 113
-,34062E+00	,27130E-07	,12002E-06	,15000E+01	Pg barra 116
-,27130E-06	,86198E+00	,15000E+00	,47061E-07	V barra 5
-,27130E-06	,80150E+00	,15000E+00	,50935E-07	V barra 9
-,27130E-06	,11449E+01	,15000E+00	,34604E-07	V barra 23
-,20347E-06	,53083E+00	,20000E+00	,76653E-07	V barra 26
-,26876E-06	,10638E-01	,14984E+00	,15557E-03	V barra 28
-,27130E-06	,18762E+00	,15000E+00	,20244E-06	V barra 29

Tabela C.2 : Variáveis no limite. Continuação.

π Mínimo	π Máximo	Variáveis de Folga Mínima	Variáveis de Folga Máxima	Limite atingido
-,27130E-06	,30270E-01	,15000E+00	,13451E-05	V barra 41
-,27130E-06	,88288E+00	,15000E+00	,46110E-07	V barra 47
-,27123E-06	,78344E-01	,15000E+00	,15754E-06	V barra 60
-,27204E-06	,41689E-03	,14941E+00	,59315E-03	V barra 64
-,27128E-06	,23598E+00	,15000E+00	,18296E-06	V barra 71
-,27130E-06	,41478E+01	,15000E+00	,97360E-08	V barra 81
-,27130E-06	,44294E+00	,15000E+00	,90636E-07	V barra 101
-,10172E-07	,32919E-02	,40000E+01	,12344E-04	Qg barra 8
-,10174E-07	,26637E-01	,40000E+01	,15666E-05	Qg barra 80
-,16239E-01	,10174E-07	,24709E-05	,40000E+01	Qg barra 116

Algoritmo Máximo Passo Na Direção Do Caminho Central

Tabela C.3 : Resultados do FPO.

Custo	Perdas
28932,04639	2853,55489

Tabela C.4 : Variáveis no limite.

π Mínimo	π Máximo	Variáveis de Folga Mínima	Variáveis de Folga Máxima	Limite atingido
-,66061E+00	,10471E-05	,63421E-06	,40000E+00	Pg barra 72
-,12853E+01	,41883E-06	,32593E-06	,10000E+01	Pg barra 73
-,50074E+00	,27922E-06	,83652E-06	,15000E+01	Pg barra 87
-,22973E+01	,41883E-06	,18231E-06	,10000E+01	Pg barra 112
-,31809E+00	,41883E-06	,13175E-05	,10000E+01	Pg barra 113
-,34063E+00	,27922E-06	,12302E-05	,15000E+01	Pg barra 116
-,27922E-05	,86167E+00	,15000E+00	,48455E-06	V barra 5
-,27921E-05	,80152E+00	,15000E+00	,52264E-06	V barra 9
-,27922E-05	,11448E+01	,15000E+00	,36303E-06	V barra 23
-,20941E-05	,53074E+00	,20000E+00	,78802E-06	V barra 26
-,27853E-05	,10519E-01	,14984E+00	,15915E-03	V barra 28
-,27920E-05	,18754E+00	,15000E+00	,20277E-05	V barra 29
-,27909E-05	,30291E-01	,14999E+00	,13763E-04	V barra 41
-,27922E-05	,88263E+00	,15000E+00	,47348E-06	V barra 47
-,27910E-05	,77845E-01	,15000E+00	,42874E-05	V barra 60
-,28019E-05	,93971E-03	,14940E+00	,59755E-03	V barra 64
-,27920E-05	,23601E+00	,15000E+00	,17897E-05	V barra 71
-,27922E-05	,41473E+01	,15000E+00	,10074E-06	V barra 81
-,27921E-05	,44241E+00	,15000E+00	,93505E-06	V barra 101
-,10469E-06	,32910E-02	,39999E+01	,12700E-03	Qg barra 8
-,10471E-06	,26642E-01	,40000E+01	,15788E-04	Qg barra 80
-,16235E-01	,10470E-06	,25691E-04	,40000E+01	Qg barra 116

Caso Stress de Potência Reativa = 1,8

Algoritmo Convencional

Tabela C.5 : Resultados do FPO.

Custo	Perdas
28986,94691	2876,68680

Tabela C.6 : Variáveis no limite.

π Mínimo	π Máximo	Variáveis de Folga Mínima	Variáveis de Folga Máxima	Limite atingido
-,12284E+01	,76036E-07	,24773E-07	,40000E+00	Pg barra 72
-,19034E+01	,30415E-07	,15983E-07	,10000E+01	Pg barra 73
-,27298E+00	,20276E-07	,11146E-06	,15000E+01	Pg barra 87
-,21432E+01	,30415E-07	,14194E-07	,10000E+01	Pg barra 112
-,72267E+00	,30415E-07	,42120E-07	,10000E+01	Pg barra 113
-,70679E+00	,20276E-07	,43036E-07	,15000E+01	Pg barra 116
-,20276E-06	,72728E+00	,15000E+00	,41946E-07	V barra 5
-,20276E-06	,65946E+00	,15000E+00	,46273E-07	V barra 9
-,20276E-06	,28252E+01	,15000E+00	,10747E-07	V barra 23
-,20273E-06	,13917E+00	,15000E+00	,21844E-06	V barra 41
-,20276E-06	,43180E+01	,15000E+00	,70413E-08	V barra 47
-,20276E-06	,33128E+00	,15000E+00	,91583E-07	V barra 64
-,20276E-06	,33007E+02	,15000E+00	,92151E-09	V barra 68
-,20276E-06	,17899E+02	,15000E+00	,16992E-08	V barra 71
-,15188E-06	,30867E-01	,20000E+00	,12461E-05	V barra 72
-,49338E+02	,20276E-06	,61643E-09	,15000E+00	V barra 76
-,15207E-06	,71203E+00	,20000E+00	,42713E-07	V barra 87
-,20276E-06	,84168E+01	,15000E+00	,36124E-08	V barra 92
-,15207E-06	,55754E+01	,20000E+00	,54548E-08	V barra 99
-,15207E-06	,15822E+01	,20000E+00	,19257E-07	V barra 103
-,20364E-06	,47022E-04	,14935E+00	,65354E-03	V barra 104
-,20275E-06	,43046E+00	,15000E+00	,70119E-07	V barra 105
-,20300E-06	,16474E-03	,14982E+00	,18285E-03	V barra 106
-,20274E-06	,14788E+00	,15000E+00	,20558E-06	V barra 110
-,76029E-08	,63895E-02	,40000E+01	,48359E-05	Qg barra 8
-,76027E-08	,58965E-02	,40000E+01	,53035E-05	Qg barra 12
-,18218E-01	,76034E-08	,16570E-05	,40000E+01	Qg barra 25
-,76032E-08	,26167E-02	,40000E+01	,11495E-04	Qg barra 26
-,75991E-08	,29079E-02	,40000E+01	,10776E-04	Qg barra 49
-,76018E-08	,25714E-02	,40000E+01	,11908E-04	Qg barra 59
-,76036E-08	,53698E+00	,40000E+01	,56640E-07	Qg barra 69
-,76036E-08	,82563E+00	,40000E+01	,36837E-07	Qg barra 80
-,76028E-08	,80618E-02	,40000E+01	,37826E-05	Qg barra 89
-,76036E-08	,11130E+00	,40000E+01	,27322E-06	Qg barra 100
-,13871E-01	,76033E-08	,21980E-05	,40000E+01	Qg barra 116

Algoritmo Máximo Passo Na Direção Do Caminho Central

Tabela C.7 : Resultados do FPO.

Custo	Perdas
28986,94718	2876,68682

Tabela C.8 : Variáveis no limite.

π Mínimo	π Máximo	Variáveis de Folga Mínima	Variáveis de Folga Máxima	Limite atingido
-,12284E+01	,21618E-06	,70435E-07	,40000E+00	Pg barra 72
-,19034E+01	,86472E-07	,45445E-07	,10000E+01	Pg barra 73
-,27298E+00	,57648E-07	,31682E-06	,15000E+01	Pg barra 87
-,21432E+01	,86472E-07	,40349E-07	,10000E+01	Pg barra 112
-,72267E+00	,86472E-07	,11975E-06	,10000E+01	Pg barra 113
-,70679E+00	,57648E-07	,12240E-06	,15000E+01	Pg barra 116
-,57646E-06	,72721E+00	,15000E+00	,11889E-06	V barra 5
-,57646E-06	,65943E+00	,15000E+00	,13134E-06	V barra 9
-,57648E-06	,28252E+01	,15000E+00	,30556E-07	V barra 23
-,57636E-06	,13917E+00	,15000E+00	,62095E-06	V barra 41
-,57648E-06	,43180E+01	,15000E+00	,20023E-07	V barra 47
-,57643E-06	,33126E+00	,15000E+00	,25943E-06	V barra 64
-,57648E-06	,33008E+02	,15000E+00	,26212E-08	V barra 68
-,57648E-06	,17899E+02	,15000E+00	,48336E-08	V barra 71
-,43187E-06	,30865E-01	,20000E+00	,30551E-05	V barra 72
-,49339E+02	,57648E-06	,17537E-08	,15000E+00	V barra 76
-,43235E-06	,71204E+00	,20000E+00	,12152E-06	V barra 87
-,57648E-06	,84169E+01	,15000E+00	,10274E-07	V barra 92
-,43236E-06	,55755E+01	,20000E+00	,15516E-07	V barra 99
-,43236E-06	,15822E+01	,20000E+00	,54781E-07	V barra 103
-,57897E-06	,13426E-03	,14935E+00	,65363E-03	V barra 104
-,57644E-06	,42994E+00	,15000E+00	,18397E-06	V barra 105
-,57714E-06	,49483E-03	,14982E+00	,18295E-03	V barra 106
-,57636E-06	,14791E+00	,15000E+00	,59082E-06	V barra 110
-,21614E-07	,63879E-02	,40000E+01	,13625E-04	Qg barra 8
-,21614E-07	,58944E-02	,40000E+01	,14826E-04	Qg barra 12
-,18222E-01	,21617E-07	,47245E-05	,40000E+01	Qg barra 25
-,21611E-07	,26126E-02	,40000E+01	,33319E-04	Qg barra 26
-,21609E-07	,29084E-02	,40000E+01	,30108E-04	Qg barra 49
-,21608E-07	,25717E-02	,40000E+01	,34029E-04	Qg barra 59
-,21618E-07	,53699E+00	,40000E+01	,16113E-06	Qg barra 69
-,21618E-07	,82564E+00	,40000E+01	,10479E-06	Qg barra 80
-,21615E-07	,80624E-02	,40000E+01	,10779E-04	Qg barra 89
-,21618E-07	,11130E+00	,40000E+01	,77710E-06	Qg barra 100
-,21469E-07	,56146E-03	,39994E+01	,61560E-03	Qg barra 113
-,13870E-01	,21616E-07	,62399E-05	,40000E+01	Qg barra 116

Sistema SSB 354

Caso Stress de Potência Reativa = 1,0

Algoritmo Convencional

Tabela C.9 : Resultados do FPO.

Custo	Perdas
10977,35832	3193,34702

Tabela C.10 : Variáveis no limite.

π Mínimo	π Máximo	Variáveis de Folga Mínima	Variáveis de Folga Máxima	Limite atingido
-,18108E-07	,90443E-05	,19960E+00	,40012E-03	V barra 90
-,18072E-07	,69037E+00	,20000E+00	,52289E-08	V barra 91
-,18072E-07	,11634E+00	,20000E+00	,31066E-07	V barra 257
-,18072E-07	,80173E+00	,20000E+00	,44798E-08	V barra 259
-,18105E-07	,98754E-05	,19963E+00	,36637E-03	V barra 260
-,18072E-07	,23225E+00	,20000E+00	,15655E-07	V barra 261
-,18072E-07	,22842E+00	,20000E+00	,15918E-07	V barra 262

Algoritmo Máximo Passo Na Direção Do Caminho Central

Tabela C.11 : Resultados do FPO.

Custo	Perdas
10977,35905	3193,34700

Tabela C.12 : Variáveis no limite.

π Mínimo	π Máximo	Variáveis de Folga Mínima	Variáveis de Folga Máxima	Limite atingido
-,38174E-06	,61919E-03	,19960E+00	,40135E-03	V barra 90
-,38098E-06	,69003E+00	,20000E+00	,12298E-05	V barra 91
-,38026E-06	,11634E+00	,20000E+00	,26010E-05	V barra 257
-,37983E-06	,79922E+00	,20000E+00	,15968E-07	V barra 259
-,38052E-06	,70694E-03	,19963E+00	,36638E-03	V barra 260
-,38124E-06	,23270E+00	,20000E+00	,25068E-05	V barra 261
-,38123E-06	,22886E+00	,20000E+00	,25252E-05	V barra 262

Caso Stress de Potência Reativa = 3,0

Algoritmo Convencional

Tabela C.13 : Resultados do FPO.

Custo	Perdas
11014,23027	3205,96463

Tabela C.14 : Variáveis no limite.

π Mínimo	π Máximo	Variáveis de Folga Mínima	Variáveis de Folga Máxima	Limite atingido
-,50739E-08	,13703E-05	,19926E+00	,73790E-03	V barra 90
-,50552E-08	,91072E+00	,20000E+00	,11086E-08	V barra 91
-,50552E-08	,11787E+00	,20000E+00	,85773E-08	V barra 257
-,50552E-08	,48282E+00	,20000E+00	,20938E-08	V barra 261
-,50552E-08	,47480E+00	,20000E+00	,21292E-08	V barra 262
-,50552E-08	,47858E-01	,20000E+00	,21095E-07	V barra 274
-,50552E-08	,47639E-01	,20000E+00	,21191E-07	V barra 275
-,50552E-08	,47725E-01	,20000E+00	,21154E-07	V barra 276
-,50552E-08	,47540E-01	,20000E+00	,21237E-07	V barra 277
-,50552E-08	,26366E+00	,20000E+00	,38308E-08	V barra 304
-,50552E-08	,25657E+00	,20000E+00	,39422E-08	V barra 342
-,50552E-08	,29053E+00	,20000E+00	,34816E-08	V barra 343
-,25276E-09	,15028E-01	,40000E+01	,67320E-07	Qg barra 305
-,25276E-09	,13384E-01	,40000E+01	,75599E-07	Qg barra 307
-,25276E-09	,13644E-01	,40000E+01	,74160E-07	Qg barra 309
-,25276E-09	,11993E-02	,40000E+01	,84327E-06	Qg barra 311
-,25276E-09	,11943E-02	,40000E+01	,84675E-06	Qg barra 312

Algoritmo Máximo Passo Na Direção Do Caminho Central

Tabela C.15 : Resultados do FPO.

Custo	Perdas
11014,23045	3205,96465

Tabela C.16 : Variáveis no limite.

π Mínimo	π Máximo	Variáveis de Folga Mínima	Variáveis de Folga Máxima	Limite atingido
-,28001E-06	,75699E-04	,19926E+00	,73796E-03	V barra 90
-,27897E-06	,91027E+00	,20000E+00	,60738E-07	V barra 91
-,27896E-06	,11787E+00	,20000E+00	,47332E-06	V barra 257
-,27897E-06	,48280E+00	,20000E+00	,11546E-06	V barra 261
-,27897E-06	,47478E+00	,20000E+00	,11741E-06	V barra 262
-,27896E-06	,47813E-01	,20000E+00	,11433E-05	V barra 274
-,27896E-06	,47595E-01	,20000E+00	,11485E-05	V barra 275
-,27896E-06	,47680E-01	,20000E+00	,11466E-05	V barra 276
-,27896E-06	,47496E-01	,20000E+00	,11510E-05	V barra 277
-,27897E-06	,26357E+00	,20000E+00	,20996E-06	V barra 304
-,27897E-06	,25655E+00	,20000E+00	,21685E-06	V barra 342
-,27897E-06	,29053E+00	,20000E+00	,19175E-06	V barra 343
-,13949E-07	,15029E-01	,40000E+01	,37125E-05	Qg barra 305
-,13949E-07	,13385E-01	,40000E+01	,41697E-05	Qg barra 307
-,13949E-07	,13645E-01	,40000E+01	,40912E-05	Qg barra 309
-,13947E-07	,11991E-02	,40000E+01	,45745E-04	Qg barra 311
-,13947E-07	,11940E-02	,40000E+01	,45891E-04	Qg barra 312

Caso Stress de Potência Reativa = 4,4

Algoritmo Convencional

Tabela C.17 : Resultados do FPO.

Custo	Perdas
11094,22372	3232,78280

Tabela C.18 : Variáveis no limite.

π Mínimo	π Máximo	Variáveis de Folga Mínima	Variáveis de Folga Máxima	Limite atingido
-,13112E-06	,27015E-04	,19903E+00	,97460E-03	V barra 90
-,13049E-06	,24123E+00	,20000E+00	,10613E-06	V barra 91
-,13048E-06	,12078E+00	,20000E+00	,21658E-06	V barra 257
-,13049E-06	,75086E+00	,20000E+00	,34740E-07	V barra 261
-,13049E-06	,73785E+00	,20000E+00	,35353E-07	V barra 262
-,13049E-06	,11048E+01	,20000E+00	,23584E-07	V barra 274
-,13049E-06	,10992E+01	,20000E+00	,23704E-07	V barra 275
-,13049E-06	,10997E+01	,20000E+00	,23693E-07	V barra 276
-,13049E-06	,10943E+01	,20000E+00	,23808E-07	V barra 277
-,65245E-08	,57834E-01	,40000E+01	,45099E-06	Qg barra 226

Tabela C.18 : Variáveis no limite Continuação.

π Mínimo	π Máximo	Variáveis de Folga Mínima	Variáveis de Folga Máxima	Limite atingido
-,65245E-08	,44306E-01	,40000E+01	,58811E-06	Qg barra 269
-,65245E-08	,44306E-01	,40000E+01	,58811E-06	Qg barra 270
-,65245E-08	,44306E-01	,40000E+01	,58810E-06	Qg barra 271
-,65245E-08	,44321E-01	,40000E+01	,58790E-06	Qg barra 272
-,65245E-08	,42954E-01	,40000E+01	,60656E-06	Qg barra 296
-,65245E-08	,10624E+00	,40000E+01	,24551E-06	Qg barra 304
-,65245E-08	,11313E+00	,40000E+01	,23059E-06	Qg barra 305
-,65245E-08	,10863E+00	,40000E+01	,24014E-06	Qg barra 307
-,65245E-08	,11088E+00	,40000E+01	,23526E-06	Qg barra 309
-,65245E-08	,95476E-01	,40000E+01	,27317E-06	Qg barra 311
-,65245E-08	,95429E-01	,40000E+01	,27330E-06	Qg barra 312
-,65245E-08	,60203E-01	,40000E+01	,43301E-06	Qg barra 313
-,65245E-08	,59957E-01	,40000E+01	,43479E-06	Qg barra 314
-,65245E-08	,40427E-01	,40000E+01	,64428E-06	Qg barra 315
-,65245E-08	,40425E-01	,40000E+01	,64431E-06	Qg barra 317
-,65245E-08	,40434E-01	,40000E+01	,64419E-06	Qg barra 318
-,65245E-08	,40433E-01	,40000E+01	,64420E-06	Qg barra 320
-,65245E-08	,43012E-01	,40000E+01	,60573E-06	Qg barra 323
-,65245E-08	,77708E-01	,40000E+01	,33557E-06	Qg barra 342
-,65245E-08	,77455E-01	,40000E+01	,33667E-06	Qg barra 343

Algoritmo Máximo Passo Na Direção Do Caminho Central

Tabela C.19 : Resultados do FPO.

Custo	Perdas
28986,94718	2876,68682

Tabela C.20 : Variáveis no limite.

π Mínimo	π Máximo	Variáveis de Folga Mínima	Variáveis de Folga Máxima	Limite atingido
-,32314E-05	,24780E-02	,19902E+00	,97637E-03	V barra 90
-,32161E-05	,23633E+00	,20000E+00	,18812E-05	V barra 91
-,32652E-05	,12086E+00	,19999E+00	,10304E-04	V barra 257
-,33052E-05	,75065E+00	,20000E+00	,42184E-06	V barra 261
-,33051E-05	,73764E+00	,20000E+00	,42942E-06	V barra 262
-,33088E-05	,11038E+01	,20000E+00	,25864E-06	V barra 274
-,33088E-05	,10982E+01	,20000E+00	,25994E-06	V barra 275
-,33089E-05	,10987E+01	,20000E+00	,25996E-06	V barra 276
-,33089E-05	,10934E+01	,20000E+00	,26126E-06	V barra 277
-,16536E-06	,57811E-01	,40000E+01	,62958E-05	Qg barra 226
-,16530E-06	,44264E-01	,40000E+01	,56945E-05	Qg barra 269
-,16530E-06	,44264E-01	,40000E+01	,56945E-05	Qg barra 270

Tabela C.20 : Variáveis no limite Continuação.

π Mínimo	π Máximo	Variáveis de Folga Mínima	Variáveis de Folga Máxima	Limite atingido
-,16530E-06	,44265E-01	,40000E+01	,56945E-05	Qg barra 271
-,16530E-06	,44280E-01	,40000E+01	,56931E-05	Qg barra 272
-,16529E-06	,42911E-01	,40000E+01	,57356E-05	Qg barra 296
-,16542E-06	,10620E+00	,40000E+01	,28216E-05	Qg barra 304
-,16543E-06	,11309E+00	,40000E+01	,27171E-05	Qg barra 305
-,16542E-06	,10858E+00	,40000E+01	,28253E-05	Qg barra 307
-,16543E-06	,11084E+00	,40000E+01	,27685E-05	Qg barra 309
-,16540E-06	,95433E-01	,40000E+01	,30782E-05	Qg barra 311
-,16540E-06	,95386E-01	,40000E+01	,30797E-05	Qg barra 312
-,16532E-06	,60161E-01	,40000E+01	,44727E-05	Qg barra 313
-,16532E-06	,59915E-01	,40000E+01	,44904E-05	Qg barra 314
-,16529E-06	,40380E-01	,40000E+01	,55933E-05	Qg barra 315
-,16529E-06	,40378E-01	,40000E+01	,55940E-05	Qg barra 317
-,16529E-06	,40387E-01	,40000E+01	,56411E-05	Qg barra 318
-,16529E-06	,40387E-01	,40000E+01	,56422E-05	Qg barra 320
-,16529E-06	,42970E-01	,40000E+01	,57209E-05	Qg barra 323
-,16540E-06	,77671E-01	,40000E+01	,39026E-05	Qg barra 342
-,16540E-06	,77418E-01	,40000E+01	,39132E-05	Qg barra 343

Bibliografia

- [1] Salgado, Roberto; Campos de Almeida, Katia. *Notas de aula da disciplina Otimização Estática Aplicada a Sistemas de Potência*. Universidade Federal de Santa Catarina , Florianópolis, Julho 1999
- [2] Cheng,J.W.M., Galiana, F.D., McGillis D.T. ; Studies of Bilateral Contracts With Respect to Steady-State Security in a Deregulated Environment. *IEEE Transactions on Power Systems* , Vol 13 , Nº3, August 1998
- [3] Galiana F.D., Ilic M. ; A Mathematical Framework for the analysis and Management of Power Transactions under open access. *IEEE Transactions on Power Systems* , Vol 13 , Nº2, May 1998
- [4] Zolian,A., Ilic M. ; Unbundling of transmission and Ancillary Services, Part I & II. *IEEE Transactions on Power Systems* , Vol 12 , Nº2, May 1997
- [5] Simões Costa, A ; *Notas de aula da disciplina Planejamento da Operação de Sistemas de Potência*. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, Agosto 1999

- [6] Ilic M., Galiana F., Fink L. ; *Power Systems Reestructuring*. Kluwer Academics Publishers, Boston 1998

- [7] El-Bakry, A.S.; Tapia, R.A.; Tsuchida, T.; Zhang, Y; 1996. On the Formulation and Theory of the Newton Interior-Point Method for Nonlinear Programming. *Journal of Optimization Theory and Applications*. USA, v. 89, n. 3, June 1996.

- [8] Granville, Sergio. Optimal Reactive Dispatch through Interior Point Methods. *IEEE Transactions on Power Systems*, Piscataway, NJ, USA, v. 9, n.1, Feb. 1994.

- [9] Castronuovo, E.D.; Campagnolo, J.M.; Salgado, R..Optimal Power Flow Solutions via Interior Point Method with High Performance Computation Techniques. PSCC'99 13th Power Systems Computation Conference. Trondheim, Norway, Junho 1999.

- [10] Castronuovo, E.D.; Campagnolo, J.M.; Salgado, R.; Vetorização do Método de Pontos Interiores Não-Linear Primal-Dual e sua Aplicação ao Fluxo de Potência Ótimo. In: CBA, CONGRESSO BRASILEIRO DE AUTOMÁTICA. (12 :set. 1998: Uberlândia, MG). *Anais*. Uberlândia, 1998.

- [11] Caramanis M.C., Bohn R.E., Schweppe F.C. ; Optimal Spot Pricing : Practice and Theory. *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems* , Vol PAS-101 , Nº9, September 1982.

- [12] Singh H., Hao S., Papalexopoulos A.; Transmission Congestion Management in Cooperative Electricity Markets. *IEEE Transactions on Power Systems* , Vol 12 , Nº4, November 1997

- [13] David A.K., Yu C.W. Pricing Transmission Services in the Context of Industry Deregulation. *IEEE Transactions on Power Systems* , Vol 12 , Nº1, February 1997

- [14] Gross G., Tao S.; A Loss Allocation Mechanism for Power System Transactions – Bulk Power System Dynamics and Control IV-Restructuring (24-28 Agosto 1998, Santorini, Grecia). Santorini, 1998

- [15] Alaywan Z., Allen J.; California Electric Restructuring; A Broad Description of the Development of The California ISO. *IEEE Transactions on Power Systems* , Vol 13 , Nº4, November 1998

- [16] Hogan W. W.; *Market-Based Transmission Investments and Competitive Electricity Markets. Center of Business and Governments.* John F. Kennedy School of Government, Harvard University. Cambridge, Massachusetts 02138 , August 1999

- [17] Castronuovo, E.D. *Solução de Fluxo de Potência Ótimo via Método de Pontos Interiores, com Aplicação de Computação de Alto Desempenho.* Tese de Mestrado em engenharia elétrica, Universidade Federal de Santa Catarina , Março 1997

- [18] Mehrotra S.; On the Implementation of a Primal-Dual Interior Point Method. *SIAM J. Optimization*, Vol. 2, No. 4, November 1992.

- [19] Villela Pinto M. A.. *Um Estudo Computacional de Algoritmos de Trajetória Central para Problemas de Complementaridade Linear Monotônica.* Dissertação de Mestrado em Matemática e Computação Científica. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, SC, dezembro 1997.

- [20] Shahidehpour S.M., Ramesh V.C.; Nonlinear Programming Algorithms and Decomposition Strategies for OPF. *IEEE Tutorial Course of Optimal Power Flow.* 1996.

- [21] Castronuovo E.D., Campagnolo J.M., Salgado R. ; A Largest-Step Central Path Algorithm Applied to the Optimal Power Flow Problem. *Controle e Automação*, Vol 11 Nº3 Setembro/Dezembro 2000.

- [22] Wu F. e Varaiya P.; Coordinated Multilateral Trades for Electric Power Networks: Theory and implementation .University of California Berkeley, January 1997

- [23] Finney J.D., Othman H.A. , Rutz W.L.; Evaluating Transmission Congestion Constraints in System Planning; IEEE/PES Summer Meeting, July 28 – August 1, 1996, Denver, Colorado, USA.
- [24] Li Y.Z., David A.K. ; Wheeling Rates of Reactive Power Flow under Marginal Cost Pricing; *IEEE Transactions on Power Systems* , Vol 9 , Nº3, August 1994
Cuervo e Galiana
- [25] Cuervo Franco P., Galiana F.D. ; Transmission Loss Allocation under Combined Pool and Bilateral Operation ; CBA, CONGRESSO BRASILEIRO DE AUTOMÁTICA. (11-14 set. 2000: Florianópolis, SC). *Anais*. Florianópolis, 2000.
- [26] Gribik P.R., Angelidis G. A., Kovacs R.R. “ Transmission Access and Pricing with Multiple Separate Energy Forward Markets ”. *IEEE Transactions on Power Systems* , Vol 12 , Nº4, November 1997
- [27] J.J. Ancona, “ A Bid solicitation and Selection Method for Developing a Competitive Spot Price Electric Market ” *IEEE/PES Summer Meeting Proceedings* , July 1996
- [28] H. Zurn, R. Salgado Notas de aula da disciplina Aspectos Estáticos do Controle de Sistemas de Potência. UFSC – Florianópolis 1999
- [29] Gribik P.R., Shirmohammadi D., Hao S., Thomas L.C.; “Optimal Power Flow Sensitivity Analysis”. *IEEE Transactions on Power Systems* , Vol 5 , August 1990
- [30] EDEDUR S.A. *Balance anual 1999*. Buenos Aires 1999
- [31] Leite da Silva A. M., Costa J.G.C.; Fatores de perdas aplicados pelo Mae , Rio de Janeiro, Junho 2000.